



Yayasan Obor

# **MEMANFAATKAN AIR LIMBAH**

**Penyunting:  
UWE NEIS**

**Redaksi:  
ALFRED BITTNER**

**Kata Pengantar:  
OTTO SOEMARWOTO**



**Yayasan Obor Indonesia**

628.4  
MEM

SERI STUDI PERTANIAN  
KERJA SAMA JERMAN DAN  
INDONESIA

Dikoordinasi oleh: Juergen H. Hohnholz

# **MEMANFAATKAN ATR LIMBAH**

Penyunting:  
Uwe Neis  
Kata Pengantar:  
Otto Soemarwoto  
Redaksi:  
Alfred Bittner

Yayasan Obor Indonesia  
Jakarta, 1993

Proyek Pembinaan Perpustakaan  
Jawa Timur  
T. A. 1991/1992

Perpustakaan Nasional: katalog dalam terbitan (KDT)

Memfaatkan Air Limbah/penyunting, Uwe Neis; kata pengantar, Otto Soemarwoto; redaksi, Alfred Bittner. -- Ed. 1. -- Jakarta: Yayasan Obor Indonesia, 1989.

xvi + 236 hlm. : 21 cm. -- (seri studi pertanian Kerjasama Jerman dan Indonesia).

Diterbitkan dengan Lembaga Kerjasama Ilmiah Tubingen, Jerman Barat.

ISBN 979-461-036-4 (no. seri lengkap)

ISBN 979-461-037-2

- |                  |                             |
|------------------|-----------------------------|
| 1. Produk limbah | 2. Daur ulang (Sampah dsb.) |
| I. Neis, Uwe     | II. Bittner, Alfred         |

628.445 8

Diterjemahkan oleh: Lily Suherly  
dalam kerja sama dengan:  
Hedy C. Holzwarth

Hak terjemahan pada Yayasan Obor Indonesia  
Hak Cipta dilindungi oleh Undang-undang  
*All rights reserved*

Buku ini diterbitkan oleh Yayasan Obor Indonesia  
kerja sama dengan Lembaga Kerjasama Ilmiah  
Tuebingen, Jerman Barat.  
Terima kasih kepada Menteri Pertanian Negara Bagian  
Baden-Wuerttemberg, Republik Federal Jerman,  
atas bantuannya untuk penerbitan buku ini.

Edisi pertama: September 1989  
Edisi kedua: Maret 1993  
YOI:81.7.3.89

Alamat penerbit:  
Jl. Plaju No. 10  
Telp. 324488 & 326978  
Jakarta 10230

M I L I K  
PERPUSTAKAAN DAERAH  
JAWA TIMUR

Nomor : 2.327 / PD / 11998  
Tanggal : 7/3 1996

Perpustakaan Daerah  
Jawa Timur  
1000010246

## DAFTAR ISI

Prakata, Juergen Hohnholz .....	vii
Kata Pengantar, Otto Soemarwoto .....	ix
Sekapur Sirih, Uwe Neis .....	xv
 Bab I Prospek Pengembangan Lahan Rawa Pasang Surut di Indonesia <i>Wirawan dan Rita Nur Suhaeti</i> .....	1
Bab II Menuju Perkembangan Irigasi Tangguh di Indonesia <i>Effendi Pasandaran</i> .....	38
Bab III Teknologi Pemanfaatan Kembali Air Limbah untuk Bidang Pertanian <i>Uwe Neis</i> .....	48
Bab IV Teknik Modeling dalam Perencanaan Sistem Pengairan <i>Emil Mosonyi, Alexander Lindner dan Fritz Francke</i> .....	75
Bab V Pemanfaatan Kembali Air Limbah untuk Tujuan Pertanian di Jerman Barat <i>Gerrit Ermel dan Rolf Kayser</i> .....	94
Bab VI Pemanfaatan Kembali Limbah Pemukiman untuk Tujuan Pertanian: Pemecahan Masalah Ekonomi-Air di Wilayah Kering <i>Klaus W. Bucksteeg</i> .....	113
Bab VII Pengolahan Air Limbah Industri di Negara Berkembang <i>Ludwig Hartmann</i> .....	131
Bab VIII Teknologi Tepat-Guna Secara Teknis, Sosial dan Ekonomis dalam Sistem Penyediaan Air Minum bagi Masyarakat Pedesaan <i>Ralf G. Cembrowicz</i> .....	144
Bab IX Pengalaman dalam Perencanaan Pengolahan Air Limbah dan Penampungan Sampah <i>Heinz B. Braun</i> .....	15



Bab X	Hyacinthus-Air (Enceng Gondok) untuk Membersihkan Air Limbah Industri	194
	Hermann Orth .....	
Tambahan, Alfred Bütner .....		220
Daftar Kata-kata Penting .....		222
Indeks .....		227
Tentang Penyunting dan Penulis .....		233

## PRAKATA

Meskipun Republik Federal Jerman adalah negara yang sudah sangat maju industrialisasinya dan telah menjual pengetahuan teknologinya ke segala penjuru dunia, namun pengkajian pertanian dalam arti seluas-luasnya secara tradisional juga merupakan salah satu bidang utama riset di negara itu. Karena Jerman tidak dibebani masalah daerah jajahan (sedikitnya sejak Perang Dunia I berakhir), maka tidak ada kebutuhan mendesak akan hasil penelitian secara langsung yang dapat memecahkan masalah kongkret. Dengan demikian para peneliti dapat dengan agak leluasa mengembangkan berbagai konsep ilmiah. Keadaan itu telah memungkinkan para ilmuwan yang mengkaji masalah pertanian dan geografi pertanian di luar negeri dapat menyusun kerangka teori sebagai landasan deduksi dan kemudian secara bertahap mengisi kerangka itu. Persoalan yang timbul sehubungan dengan proses peralihan dari negara agraris ke negara industri juga pernah dihadapi oleh Jerman. Persoalan yang pernah dihadapi Jerman sama saja dengan yang dewasa ini muncul di negara-negara yang sedang berkembang.

Pada awal tahun 80-an YAYASAN OBOR INDONESIA telah menghubungi Lembaga Kerjasama Ilmiah (*Institut fuer wissenschaftliche Zusammenarbeit*) di Tuebingen/Republik Federal Jerman dan mengusulkan agar metode ilmu pertanian yang secara khusus dikembangkan di Jerman dijadikan pokok sebuah seri buku yang akan terdiri dari sejumlah bunga rampai berisikan karangan ahli ilmu pertanian terkemuka. Sebagai buku murah berbahasa Indonesia seri bunga rampai itu pasti akan tersebar luas sekali. Maksud dari buku itu ialah memberi kesempatan kepada dosen dan mahasiswa di Indonesia untuk mempelajari hasil penelitian dari daerah kebudayaan (*culture area*) lain dalam bahasa Indonesia dan dengan demikian memberi masukan untuk diskusi ilmiah internasional. Waktu itu kerjasama di bidang penerbitan buku pelajaran ilmiah masih terhalangi oleh kesulitan dana, karena penerjemahan teks yang rumit ke dalam Bahasa Indonesia merupakan faktor biaya yang cukup berpengaruh.



Pada kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Departemen Urusan Bahan Makanan, Pertanian, Lingkungan Hidup dan Perhutanan (*Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten*) dari Negara Bagian Baden-Wuerttemberg atas kesediaannya membantu penerbitan seri buku ini. Meskipun Baden Wuerttemberg telah mencapai tingkat perkembangan teknologi yang tinggi, namun bidang pertanian tak pernah diabaikannya. Salah satu perguruan tinggi ilmu pertanian yang terkemuka di Jerman terdapat di negara bagian itu, di samping sejumlah sekolah kejuruan bidang pertanian yang penting dan perusahaan mesin pertanian. Namun uluran tangan dari pihak departemen tersebut baru dirintis berkat kunjungan Perdana Menteri Negara Bagian Baden-Württemberg, Dr. Lothar Spath, ke Indonesia. Pada kesempatan itu Dr. Spath mengusulkan kepada Menteri Ristek Habibie agar di samping kerjasama di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi juga diadakan kerjasama di bidang ilmu pertanian. Gagasan mengenai penerbitan seri buku murah untuk studi ilmu pertanian dihidupkan kembali dan tugas pelaksanaan proyek itu diserahkan kepada Lembaga Kerjasama Ilmiah bersama mitranya, **YAYASAN OBOR INDONESIA**.

Seri buku ini untuk sementara direncanakan akan terdiri atas delapan jilid yang akan diterbitkan pada tahun-tahun mendatang. Konsep yang mendasari penerbitan seri ini adalah pendekatan interdisipliner sehingga bahan yang akan disajikan bukan hanya masalah produksi tanaman dan ternak, melainkan juga sejumlah bidang lain yang berperan dalam pendidikan mahasiswa ilmu pengetahuan. Bidang yang dipilih untuk itu adalah geografi pertanian, ekonomi pertanian, perikanan (*sea farming*), teknologi pertanian, sosiologi pedesaan, produksi, pertanian, produksi peternakan, pengairan, ekologi, kehutanan.

Pilihan teks dalam bunga rampai yang diterbitkan dalam rangka seri ini mencakup bahan spesifik dari berbagai bidang yang termasuk kelompok ilmu-ilmu pertanian dalam arti yang luas. Tiap-tiap jilid akan mencakup 8-10 karangan. Di samping karangan yang bersifat pengantar untuk memperkenalkan garis-garis besar permasalahan yang akan dibahas dalam jilid yang bersangkutan, setiap bunga rampai akan mengandung juga karangan yang menyoroti contoh kongkret dari negara dunia ketiga umumnya dan Indonesia khususnya.

(Prof. Dr. Juergen H. Hohnholz)

## KATA PENGANTAR

*Otto Soemarwoto*

Air merupakan zat esensial untuk kehidupan. Airlah yang memungkinkan adanya kehidupan di bumi. Ini disebabkan tubuh makhluk hidup sebagian besar terdiri dari air, kecuali makhluk hidup dalam bentuk biji dan spora. Di samping sebagai bagian tubuh, air esensial pula dalam berbagai reaksi kimia, seperti fotosintesis dan hidrolisis, pengatur turgor sel, sebagai zat pelarut berbagai jenis zat dalam tubuh dan medium tempat terjadinya reaksi kimia dalam metabolisme, serta pembersih tubuh dengan mengangkut dan mengeluarkan zat sisa dan hasil samping metabolisme, misalnya dalam bentuk air seni. Penguapan air dari tubuh merupakan pengatur suhu tubuh yang efektif.

Dengan adanya bermacam fungsi air yang esensial untuk kehidupan itu, makhluk hidup harus dengan terus-menerus mendapatkan air. Manusia dewasa rata-rata membutuhkan 1 sampai 2 liter air per hari untuk dapat mempertahankan fungsi tubuh dan untuk mengganti air yang hilang sebagai air seni dan karena penguapan. Yang penting bukan hanya kuantitas air yang kita dapatkan, melainkan kualitasnya pun haruslah memenuhi syarat.

Banyaknya air yang dibutuhkan oleh manusia dipengaruhi oleh kebudayaannya. Manusia yang masih rendah kebudayaannya hanya membutuhkan air untuk memenuhi kebutuhan hidupnya yang paling esensial. Dengan naiknya kebudayaan, air dibutuhkan pula untuk pengairan tanaman pertanian, proses industri, penggelontoran limbah domestik dan industrinya, transpor, dan juga rekreasi. Terutama pengairan untuk tanaman pertanian memerlukan banyak sekali air, karena tingginya laju transpirasi pada tumbuhan umumnya.

Air yang terpakai oleh manusia mengalami perubahan sifat kimia dan fisik. Sisa tubuh yang dibuang di MCK masuk ke dalam perairan sehingga kadar mineral naik, seperti N dan P, serta bahan organik dalam bentuk

terlarut, koloid dan padat. Di daerah yang industri, pertambangan dan ranspornya telah berkembang, limbah dari kegiatan itu masuk juga ke dalam perairan dan mencemarinya. Bila tingkat pencemarannya tinggi, air itu tidak lagi layak digunakan untuk mendukung kehidupan manusia, seperti keperluan rumah tangga untuk minum, masak dan mandi, pertanian, perikanan, peternakan dan industri.

Namun untunglah air merupakan sumberdaya yang diperbarui. Ia dapat digunakan berulang kali, karena air di dalam alam mengalami daur, yaitu daur hidrologi, dan proses pemurnian kembali. Daur hidrologi berjalan dengan menggunakan energi matahari, yaitu panas matahari menguapkan air. Uap air itu terbawa oleh angin naik ke angkasa sehingga suhunya turun dan mengembun membentuk awan yang menjadi sumber air hujan yang jatuh kembali ke bumi. Dengan adanya daur hidrologi ini air tidak habis-habisnya di hidrosfer, yaitu bagian kulit bumi dan lapisan atmosfer yang mengandung air, uap air dan es. Penguapan air pada hakekatnya merupakan proses penyulingan sehingga uap air menjadi bersih dari zat pencemar. Selain pembersihan melalui penguapan, air juga menjadi bersih oleh penyinaran sinar ultra-violet (UV) yang dipancarkan matahari. Sinar UV itu mematikan sebagian jasad renik yang ada dalam air, antara lain juga jasad renik penyebab penyakit. Sebagian lagi jasad renik juga mengalami kematian oleh oksidasi dengan adanya oksigen yang terlarut dalam air. Bahan organik dalam air mengalami penguraian melalui proses oksidasi, baik langsung maupun yang dikerjakan oleh jasad renik pengurai. Sebagian lain zat pencemar mengendap ke dasar badan air. Dengan adanya penyinaran UV, pengendapan dan oksidasi, air yang tercemar menjadi bersih kembali.

Akan tetapi sifat diperbarui air tidaklah tanpa batas, karena kemampuan alam untuk membersihkan air tidaklah tanpa batas. Dengan makin banyaknya jumlah penduduk, makin banyak pula jumlah limbah, baik limbah cair maupun limbah padat. Pencemaran oleh limbah domestik telah menyebabkan ledakan penyakit secara periodis, misalnya muntah berak. Untuk memenuhi kebutuhan pangan penduduk yang makin bertambah jumlahnya itu, produksi pangan dan hasil lain pertanian dan peternakan harus dinaikkan. Untuk keperluan ini makin diintensifkanlah penggunaan pupuk dan pestisida. Sebagian dari pupuk dan pestisida itu tercuci masuk ke dalam perairan, baik perairan permukaan, seperti sungai, maupun air tanah. Limbah peternakan pun mencemari air. Dikhawatirkan pencemaran oleh pupuk, khususnya pupuk N, dan limbah peternakan, telah menaikkan risiko kanker dengan terbentuknya

senyawa nitroso dari nitrit dan amid atau amin, serta methaeloglobinaemia atau sindrom "bayi biru" yang disebabkan oleh nitrit (Pretty dan Conway 1983a dan 1983b). Pencemaran oleh residu pestisida juga telah terdapat di banyak perairan di Indonesia, sehingga, antara lain, air susu sapi dan air susu ibu mengandung residu pestisida (Djuangsih 1988).

✓ Dengan naiknya kegiatan industri, pertambangan dan transpor, limbah dari kegiatan itu pun terus meningkat. Menurut laporan World Commission on Environment dan Development (WCED 1987), dalam tahun 1984 di seluruh dunia dihasilkan 325 sampai 375 juta ton limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), 5 juta di antaranya di negara industri baru dan negara sedang berkembang. Banyak limbah B3 itu dibuang secara sembrono atau diangkut dari negara maju ke negara sedang berkembang dan dibuang di negara ini tanpa mengindahkan peraturan keamanan dan kesehatan. Di negara maju pun banyak tempat pembuangan B3 yang tidak memenuhi syarat, sehingga terjadi perembesan B3 ke perairan dan tempat pemukiman. Sungai Rein di Eropa, misalnya, telah tercemar berat oleh limbah industri dan pertambangan di Swis, Prancis, Jerman, Belgia dan Belanda.

Akibat pencemaran air dapat sangat serius. Keracunan oleh air raksa (Hg) yang disebut penyakit Minamata dan oleh kadmium (Cd) yang disebut penyakit itai-itai, keduanya di Jepang, merupakan sekedar dua contoh yang sangat menghebohkan. Yang pertama disebabkan oleh limbah pabrik plastik, dan yang kedua oleh limbah tambang seng. Masalah pencemaran oleh limbah menjadi lebih serius lagi dengan adanya kecelakaan di pabrik kimia, seperti misalnya terjadi belum lama berselang di Swis yang menyebabkan pencemaran berat di Sungai Rein. ✓

Terperbaruinya air melalui daur hidrologi pun mulai terancam oleh makin banyaknya limbah industri dan transpor yang dibuang ke udara, yaitu gas  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , dan  $\text{NH}_3$ . Gas itu di dalam udara mengalami reaksi kimia dan diubah menjadi asam yang turun kembali ke bumi secara langsung (deposisi kering, *dry deposition*) atau bersama hujan dalam bentuk hujan asam. Pencemaran itu telah menyebabkan kematian berjuta hektar hutan di Amerika Utara dan Eropa, serta merusak tanaman pertanian (MacKenzie & El-Ashry 1988; Postel 1987; WRI dan IIED 1986). Kehidupan di beribu danau juga mengalami kematian (Brown & Flavin 1988; WRI & IIED 1988). Karena naiknya keasaman air (pH-nya turun), kelarutan berjenis logam berat pun naik, sehingga, misalnya, contoh air minum di Pegunungan Adirondack, New York, Amerika Serikat, mengandung timah hitam 100 kali lebih tinggi dari batas yang diperbolehkan (Postel 1987)

Selain pencemaran oleh limbah rumah tangga dan industri, kualitas air telah pula menurun dengan naiknya kadar lumpur yang disebabkan oleh naiknya laju erosi di banyak tempat di bumi ini. Kenaikan laju erosi itu disebabkan oleh kerusakan hutan dan vegetasi lainnya serta cara bercocok tanam yang tidak mengindahkan pencagaran tanah. Erosi yang berat telah mengakibatkan terjadinya penggurunan (*desertification*). Erosi dan penggurunan tidak hanya terjadi di negara sedang berkembang yang melarat, melainkan juga di negara maju yang kaya. Di Amerika Utara, misalnya, 40% lahan pertanian kering telah mengalami penggurunan (WRI & IIED 1988).

Indonesia telah mengalami pula masalah pencemaran air oleh limbah rumah tangga dan industri. Pencemaran sering dapat terlihat secara visual dan juga tercium baunya, seperti dapat kita lihat pada sungai-sungai yang mengalir melalui kota-kota. Penyakit muntah berak dan hepatitis terdapat luas di Indonesia dan penderitanya sangat banyak. Tingginya kadar lumpur dapat juga terlihat secara visual dari warna coklat kental air sungai, misalnya, Ciliwung, Citanduy dan Bengawan Solo.

Dengan adanya masalah pencemaran itu, persediaan air yang dapat kita gunakan dengan aman untuk kehidupan kita, tanaman, hewan dan industri, menjadi terbatas. Oleh karena itu harus kita lakukan usaha untuk mengatasi masalah ini. Usaha itu pada dasarnya terdiri dari i) pengendalian erosi; ii) mengurangi limbah yang kita hasilkan dengan menaikkan efisiensi penggunaan air, energi dan bahan baku; iii) pengolahan limbah; dan iv) mendaurulangkan air limbah. Dua usaha yang pertama tidak termasuk dalam pembahasan buku ini. Pengolahan air limbah dan daur ulang air limbah dapat dilakukan dengan memanfaatkan air limbah. Dengan demikian kita dapat melihat air limbah bukan sebagai barang buangan, melainkan sebagai sumber daya. Bagi negara sedang berkembang, seperti Indonesia, harus dicari cara yang murah dan efektif. Misalnya, limbah pabrik gula dapat digunakan sebagai pupuk (Tedjowahjono dan Kurniawan 1982). Enceng gondok dapat pula digunakan untuk membersihkan air limbah, misalnya, limbah pulp dan kertas (Haider *et al* 1984), limbah domestik (Mosse & Chagas 1984; Nath *et al* 1984), limbah penyamakan kulit (Prasad *et al* 1984), limbah pabrik kelapa sawit (Yusof *et al* 1984) dan pabrik karet (John 1984). Enceng gondok itu kemudian dapat dimanfaatkan, misalnya, untuk membuat biogas. Potensi pemanfaatan air limbah sangatlah besar. Oleh karena itu sudah sewajarnya kita mengeksplorasi potensi ini yang kini masih belum banyak digunakan di Indonesia.

## KEPUSTAKAAN

- Brown, L.R. dan C. Flavin. 1988. "The earth's vital signs." Dalam *State of the world 1988*, disunting oleh L.R. Brown, hlm. 1-21, W.W. Norton & Company, New York.
- Djuangsih, N. 1988. "The impact of environmental pollution on rural development in Indonesia." Dalam *Sustainable rural development in Asia*, disunting oleh T. Charunwatana dan A.T. Rambo, hlm. 172-177. Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.
- Haider, S.Z., K.M.A. Malik, M.M. Rahman dan M.A. Ali. 1984. "Pollution control by water hyacinth." Dalam *Water hyacinth*, disunting oleh G. Tyagarajan, hlm. 627-634. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- John, C.K. 1984. "Use of water hyacinth in the treatment of effluents from rubber industry." Dalam *Water hyacinth*, disunting oleh G. Tyagarajan, hlm. 699-712. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- MacKenzie dan El Ashery. 1988. *Ill winds. Airborne pollution's toll on tress and crops*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Mohd. Yusof, Abdullah bin. 1984. "Advanced treatment of palm oil mill effluent using water hyacinth." Dalam suntingan G. Tyagarajan, hlm. 676-698. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Mosse, R.A. dan J.M. Chagas. 1984. "Utilization of water hyacinth in the tertiary treatment of domestic sewage." Dalam *Water hyacinth*, disunting oleh G. Tyagarajan, hlm. 635-646. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Nath, K.J., S.V. Rama Rao, dan S. Nair. 1984. "Low cost waste water treatment with water hyacinth." Dalam *Water hyacinth*, disunting oleh G. Tyagarajan, hlm. 655-675. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Postel, S. 1987. "Stabilizing chemical cycles." Dalam *State of the world*, disunting oleh L.R. Brown, hlm. 157-176. W.W. Norton & Company, New York.
- Prasad, B.G.S., W. Madhavakrishna dan Y. Nayudamma. 1984. "Utilization of water hyacinth in the treatment and disposal of tannery water." Dalam *Water hyacinth*, disunting oleh G. Tyagarajan, hlm. 647-654. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Pretty, J., dan G.R. Conway. 1988a. *Cancer risk and nitrogen fertilizers. Evidence from developing countries*. Gatekeeper Series No. 34. International Institute for Environment and Development, London.



- , 1988b. *The blue-baby syndrome and nitrogen fertilizers: A high risk in the tropics?* Gatekeeper Series No. SA5. International Institute for Environment and Development, London.
- Tedjowahjono, S. dan Y. Kurniawan. 1982. "Masalah pencemaran lingkungan oleh limbah pabrik gula dan cara pengendaliannya." *Majalah Perusahaan Gula* 18: 56-64.
- World Resources Institute and International Institute for Environment and Development. 1986. *World Resources 1986*. Basic Books Inc., New York.
- World Resources Institute and International Institute for Environment and Development. 1988. *World Resources 1988-89*. Basic Books Inc., New York.

## SEKAPUR SIRIH

Di daerah kering di seluruh dunia, pembersihan air limbah mulai dilakukan untuk memenuhi pelbagai kebutuhan: menyediakan air yang dibutuhkan oleh penduduk; menyediakan unsur hara jika air yang telah dibersihkan tersebut dipakai untuk keperluan irigasi; memasok bahan penyubur tanah pertanian yang kering; dan mengurangi pencemaran.

Menghabiskan sumberdaya dunia dan pencemaran lingkungan merupakan ancaman yang menakutkan, baik untuk negara maju maupun untuk negara berkembang. Menemukan, menyedot, membersihkan, mengangkut dan mendaur ulang air, merupakan tugas yang menjadi semakin penting. Populasi dunia yang semakin meningkat, seperti juga bertambahnya pemakaian air di setiap rumah tangga serta penggunaannya untuk industri, semakin meningkatkan permintaan akan persediaan air kita. Kadang-kadang orang beranggapan bahwa sumberdaya air, bagaimanapun juga, tersedia cukup banyak dengan mutu yang dapat diterima, kapan saja dibutuhkan. Tetapi permintaan air yang lebih banyak, membutuhkan daur pemakaian air yang lebih cepat dan cara pemakaian air yang lebih hati-hati. Hal ini hanya bisa dicapai dengan perencanaan yang tepat dan pemilihan teknologi pemakaian-ulang yang sesuai.

Kita harus sadar bahwa tersedianya air tidak hanya berarti banyaknya air untuk berbagai macam tujuan -- yaitu untuk rumah tangga, pertanian dan industri -- tetapi juga harus diperhatikan kualitasnya. Misalnya, bisa saja sejumlah air dipakai untuk tujuan yang tidak pada tempatnya. Selain itu, air yang dapat dipakai untuk irigasi belum tentu dapat dipakai untuk keperluan industri. Mutu dan jumlah air saling berkaitan, dan keduanya harus diperhatikan secara bersamaan dalam mengelola pemanfaatan air kembali.

Air digunakan dalam industri dengan tiga tujuan utama: pendinginan, pemrosesan dan penguapan. Dalam beberapa hal, seperti industri makanan, farmasi dan kimia, air dapat menjadi komponen material untuk produksi itu sendiri. Mutu air hendaknya memadai untuk penggunaan khusus.

industri. Jadi, dapat berasal dari air yang belum diolah sampai yang telah dideionisasi.

Saat ini, penanganan limbah industri dan daur-ulang air merupakan masalah teknologi yang rumit dan penuh tantangan. Jalan keluarnya berbeda-beda pada masing-masing industri atau bahkan juga dalam situasi yang khusus. Biayanya mungkin mahal. Meskipun demikian, ditinjau dari keuntungan yang diperoleh dari pemakaian-ulang air dan pengawasan pencemaran air, biayanya cukup mahal. Pemanfaatan kembali air limbah yang diawasi dalam pertanian, bukanlah sesuatu yang baru. Metode perawatan tanah dan air limbah telah dikenal di Eropa sejak abad pertengahan. Sekarang ini banyak daerah usahatani melakukannya: beberapa di Eropa, tetapi lebih banyak lagi di Amerika, Australia dan Asia. Peningkatan minat ini merupakan pertanda bahwa perawatan tanah sekarang telah dimengerti dan dikembangkan sebagai sebuah teknik yang paling baru yang tersedia untuk pengolahan air limbah. Teknik ini mempunyai prospek yang cerah bagi situasi yang sering kita temukan di negara berkembang: tersedianya tanah, teknologi yang murah harganya dan teknik yang mungkin dipakai. Dalam rencana pemanfaatan kembali untuk pertanian yang demikian, yang pertama-tama harus diperhatikan ialah produksi pertanian dengan risiko yang rendah dapat mengganggu penduduk. Banyak skema yang berhasil menggabungkan keduanya. Bagaimanapun juga, masalah yang paling serius ialah memperkenalkan cara perlindungan kesehatan. Masalah lainnya berhubungan dengan salinitas (kadar garam) dan sodisitas (kadar sodium). Dampak yang berkaitan dengan pemanfaatan kembali air limbah dalam bidang pertanian sangat penting bagi lingkungan dan sosial sehingga kebutuhan akan penyelidikan dan tindakan terarah menjadi semakin jelas.

Uwe Neis

## Bab I

# PROSPEK PENGEMBANGAN LAHAN PASANG SURUT DI INDONESIA\*

*Wirawan dan Rita Nur Suhaeti*

## Pendahuluan

### *Latar belakang*

Dalam program pembangunan Pertanian Nasional, pemerintah berusaha mempertahankan swasembada pangan, meningkatkan ekspor nonmigas, membuka lapangan kerja dan meningkatkan pendapatan masyarakat secara bertahap.

Walaupun telah dilakukan program Keluarga Berencana, namun perkembangan penduduk masih berkisar pada angka 2,5 persen. Di samping itu kegiatan pembangunan semakin beraneka ragam guna menampung tenaga kerja yang semakin bertambah. Dengan perkembangan seperti di atas, lahan-lahan potensial yang dapat dijadikan lahan pertanian atau obyek pembangunan lain makin lama makin berkurang dan akhirnya kegiatan pembangunan berpaling pada lahan-lahan marginal seperti: lahan kering atau lahan rawa lebak dan rawa pasang surut. Di Indonesia, lahan rawa lebak dan pasang surut tersedia cukup luas, namun pengembangannya perlu dikelola secara hati-hati karena sifat lahan yang labil. Berdasarkan pengalaman, pembukaan lahan rawa pasang surut ternyata memerlukan biaya yang relatif rendah dibandingkan dengan pembangunan irigasi kon-

\* Diambil dari Wirawan dan Rita Nur Suhaeti, "Prospek Pengembangan Lahan Pasang Surut di Indonesia" Bogor, 20 Juli 1988

vensional dan pembangunannya dapat dilakukan secara bertahap.

Masyarakat Bugis dan Banjar telah berhasil mengembangkan suatu pola pertanian lahan pasang surut pada tingkat penghasilan yang mampu untuk menghidupi keluarganya. Pola penggunaan lahan yang mereka gunakan ialah persawahan, kebun kelapa dan kebun campuran. Pada lokasi tertentu, jeruk merupakan salah satu tanaman yang memberikan pendapatan tunai yang cukup tinggi.

Dipandang dari segi keadaan faktor lingkungan dan tata guna lahan untuk daerah pertanian, daerah pasang surut mempunyai prospek yang cerah. Keadaan topografi yang datar, bahan mineral dan organik tanah yang terkumpul serta tepi pantai yang strategis lokasinya, membuat daerah pasang surut merupakan wilayah yang penting untuk dikembangkan.

Dengan latar belakang inilah sejak Pelita I pemerintah mulai berusaha mengembangkan lahan pertanian pasang surut di beberapa propinsi di Indonesia, antara lain Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Lampung, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Barat.

#### Pengertian lahan rawa

Di Indonesia, lahan rawa secara umum dibagi menjadi 2 macam, yaitu lahan rawa nonpasang surut dan lahan rawa pasang surut. Lahan rawa nonpasang surut lebih dikenal dengan sebutan lebak. Lahan rawa lebak terdapat di pedalaman, sedangkan lahan rawa pasang surut terdapat di sekitar pantai dan dipengaruhi oleh gerakan pasang surut air laut.

Daerah lebak hampir sepanjang tahun tergenang air, karena berada pada lembah yang datar. Volume air pada daerah lebak tergantung pada curah hujan. Pada saat kemarau panjang, dataran lebak dapat kering sekali dan sering terbakar. Pemanfaatan daerah lebak dapat dilakukan untuk tanaman padi satu kali setahun atau aneka tanaman lain setelah dibuat saluran reklamasi.

Pasang surut ialah gejala gerak berkala dari permukaan air dalam arah vertikal yang disebabkan oleh pengaruh gaya tarik benda-benda langit terutama gaya tarik bulan. Gerak vertikal dari air tersebut menyebabkan perbedaan tinggi air dari satu tempat ke tempat lain, sehingga timbul gerak horizon berupa arus. Selain dari itu, perbedaan tinggi air yang terjadi di permukaan laut dapat berperan sebagai bendung/empang pada muara sungai, sehingga air sungai yang mengalir ke laut bagaikan di empang. Dengan demikian permukaan air sungai ikut naik dan kadang-kadang dapat melimpah menggenangi dataran di sekitarnya.

Daerah-daerah rawa sepanjang pantai atau sungai besar sampai jauh ke pedalaman, secara langsung atau tidak langsung dipengaruhi oleh gerakan pasang surut air laut yang dikenal sebagai daerah pasang surut. Sedangkan air yang melimpah pada waktu pasang dan menurun pada waktu surut disebut air pasang surut.

Berdasarkan jangkauan luapan air pasang, Sandy dan Nad Darga dalam Widjaja (1986) membedakan lahan rawa pasang surut menjadi 4 tipe, yaitu:

1. Tipe A : daerah pasang surut yang langsung dipengaruhi air pasang. Daerah ini terluapi baik pada waktu pasang besar (pasang tunggal) maupun pasang kecil (pasang ganda).
2. Tipe B : daerah pasang surut yang langsung dipengaruhi air pasang, tetapi terluapi hanya pada waktu pasang besar.
3. Tipe C : daerah pasang surut yang tidak terluapi, baik pada waktu pasang besar maupun pasang kecil. Pengaruh air hanya merupakan rembesan dalam tanah, genangan air lebih banyak dipengaruhi oleh air hujan.
4. Tipe D : daerah pasang surut yang tidak terluapi, baik pada waktu pasang besar maupun pasang kecil dan tidak terdapat rembesan dalam tanah. Daerah ini sering juga disebut dengan lahan kering pasang surut.

Daerah-daerah yang termasuk dalam Tipe A dan B disebut juga dengan daerah pasang surut langsung, tipe C disebut daerah pasang surut tidak langsung dan tipe D ialah lahan kering pasang surut.

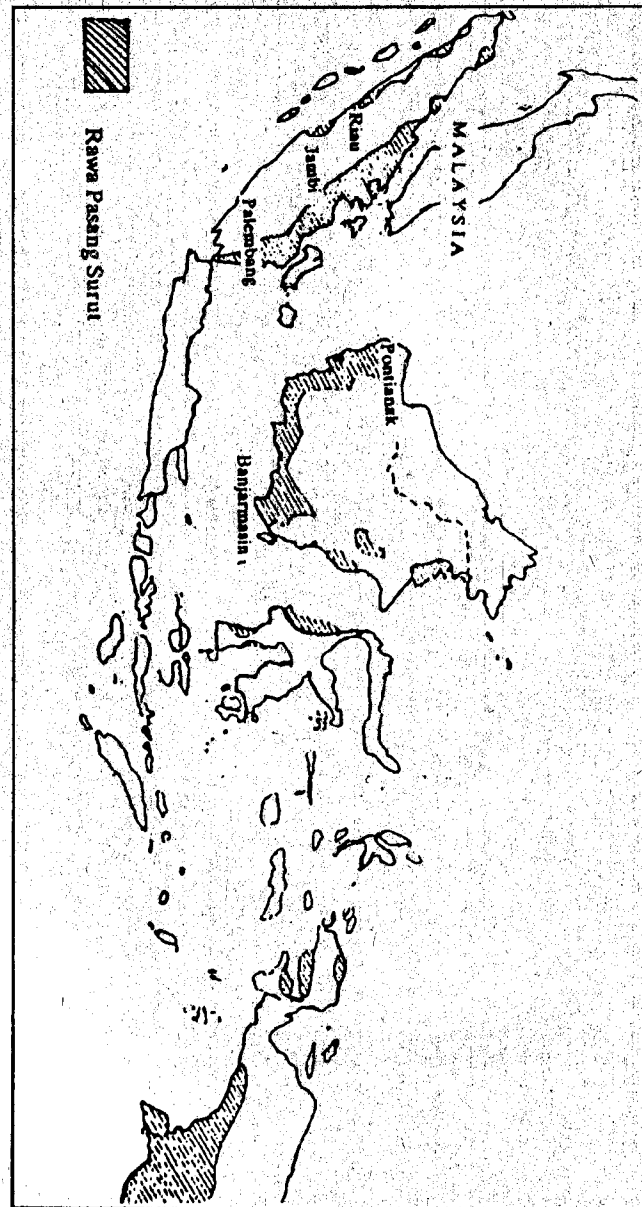
#### *Potensi lahan rawa pasang surut*

Indonesia mempunyai lahan rawa lebak dan pasang surut cukup luas, yaitu sekitar 39,47 hektar. Lahan rawa ini tersebar di keempat pulau besar, yaitu Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya, dengan luas masing-masing 13,2, 12,9, 0,47 dan 12,9 juta hektar. Penyebarannya dapat dilihat pada Gambar 1.1:

Sekitar 7 juta hektar dari lahan rawa tersebut dipengaruhi oleh pasang surut air laut dan tersebar di Sumatera 2,35 juta hektar, Kalimantan 2,07 juta hektar, Sulawesi 84 ribu hektar dan di Irian Jaya 2,30 juta hektar. Daerah rawa pasang surut di Sumatera dan Kalimantan mempunyai prospek yang baik untuk dikembangkan menjadi lahan pertanian.

Adapun jenis tanah di keempat pulau tersebut didominasi oleh jenis





Sumber : Badan Pelaksanaan Proyek Pengembangan Lahan Rawa di Indonesia

Gambar 1.1 : Penyebaran lahan rawa di Indonesia

jenis tanah Organosol, Alluvial, Latosol dan Podzolik Merak Kuning (LPT, 1972). Tabel 1.1. menyajikan klasifikasi tanah utama dan penyebarannya serta luasnya. Jenis tanah organosol terbentuk dari dekomposisi bahan-bahan organik yang biasanya tersebar di daerah pantai, cekungan (*back-swamp*) dan cembungan (*dome*).

Tabel 1.1. Klasifikasi tanah utama dan penyebaran serta luasnya di Indonesia (belum termasuk Propinsi Timor Timur)

Klasifikasi tanah		Penyebaran Bentuk Wilayah (secara Umum)	Luas	
L. P. tanah (8)	Taksonomi tanah (9)		(000 Ha)	(%)
Organosol	Histosol	Datar	24.000	12,57
Alluvial	Entisol	Datar	19.628	10,28
	Inceptisols			
Regosol	Entisol	Datar Berbukit	4.300	2,25
Renzina	Mollisol	Berbukit	1.782	0,93
Grumusol	Vertisols	Datar Berge- lombang	1.886	9,99
Andosol	Inceptisols	Bergunung	6.491	3,40
Mediteran	Alfisol	Datar Bebukit	8.525	4,46
Latosol	Inceptisols	Datar Bergunung	17.856	9,35
	Ultisol			
Podsolik merah kuning	Utisol Oxisols	Berombak	31.960	16,74
Podsolik coklat	Inceptisols	Berbukit		
Podsol		Bergunung	16.757	9,78
	Spodosol	Datar Bergunung	5.603	2,93
Kompleks/ lain-lain	Complex	Datar Bergunung	52.158	27,32
Jumlah			190.946	100,00

Sumber : Peta tanah bagian Indonesia (1972) dimodifikasi Klasifikasi L.P.tanah (10) pada tingkat jenis klasifikasi taksonomi tanah (11) pada tingkat ordo

Jenis tanah organosol kurang baik sebagai lahan pertanian karena sifat fisik dan kimianya tidak mendukung. Misalnya sering terjadi penurunan permukaan tanah dan mudah terbakar jika kekeringan, tidak bisa dipu

lihan kembali (*irreversible*), dan miskin unsur haranya. Jenis tanah organosol mempunyai luas sekitar 24 juta hektar. Jenis tanah organosol di cekungan biasanya lebih baik daripada di cembungan, karena terdapat bahan endapan sungai yang tidak berpirit (senyawa  $\text{FeS}_2$ ). Jenis yang kedua ialah tanah alluvial yang luasnya sekitar 19,6 juta hektar. Tanah jenis ini terdiri dari dua macam endapan, yaitu endapan sungai atau endapan air laut. Jenis ketiga ialah latosol dengan luas sekitar 17,9 juta hektar dan terbentuk dari batuan tua berupa bahan tufa atau batuan vulkan. Jenis tanah latosol yang terbentuk dari batuan vulkan muda cukup baik sebagai lahan pertanian, sebaliknya, tanah dari batuan vulkan tua kurang baik sifat-sifat kimianya. Jenis tanah podzolik merah kuning terbentuk dari bahan-bahan tua seperti tufa, batu pasir, batu liat atau batuan metamorf. Biasanya tanah jenis ini terdapat di perbukitan atau di patahan pegunungan (lipatan). Tanah ini mempunyai luas sekitar 31,9 juta hektar dan juga kurang baik sebagai lahan pertanian.

Pada lahan rawa lebak, jenis tanah umumnya mengandung bahan alluvial endapan sungai, sehingga tergolong cukup potensial sebagai lahan pertanian. Di lain pihak, tanah rawa pasang surut mempunyai tanah alluvial dari bahan endapan air laut yang mempunyai salinitas tinggi dan mengandung pirit, sehingga kurang sesuai untuk lahan pertanian. Tetapi dengan menggunakan metode tertentu tanah-tanah marginal ini masih dapat dijadikan lahan pertanian dengan hasil yang cukup mengagumkan, tergantung dari pengelolaannya.

Tanah rawa sendiri diklasifikasikan dalam tiga jenis tanah, yaitu tanah alluvial dan tanah gambut serta tanah yang sifatnya berada di antara sifat tanah alluvial dan sifat tanah gambut. Hal ini dilihat dari ketebalan dan kadar bahan organik lapisan atas, misalnya glei humik, bila kadar bahan organiknya tinggi tetapi belum memenuhi persyaratan sebagai tanah gambut, dan glei bergambut, bila lapisan atas memenuhi persyaratan untuk disebut gambut tetapi ketebalannya kurang dari 40 cm, jadi dalam hal ini tidak memenuhi syarat. Tanah alluvial bermineral pirit biasanya berpotensi sulfat asam. Di tempat-tempat tertentu senyawa  $\text{FeS}_2$ nya teroksidasi sehingga membentuk lapisan "cat clay". Tanah demikian disebut tanah sulfat masam karena banyak mengandung senyawa sulfat yang larut dalam air dan dapat mematikan tanaman yang ada.

Lahan rawa di Indonesia mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan lahan pertanian. Paling tidak terdapat 10,5 juta hektar lahan yang berpotensi untuk pertanian. Lahan potensial ini sebagian telah dimanfaatkan oleh penduduk setempat, transmigran umum ataupun transmi-

gran swakarsa menjadi lahan pertanian yang cukup baik dengan cara mengubah ekosistem marginal sumberdaya rawa hutan menjadi sistem pertanian tanaman pangan. Transformasi ini merupakan usaha utama untuk meningkatkan kesejahteraan ratusan ribu penduduk Indonesia yang bermukim di lahan rawa. Oleh pemerintah program pengembangan rawa pasang surut dikaitkan dengan program transmigrasi.

### Kegiatan Pengembangan

Lahan rawa merupakan sumber daya dengan tanah-tanah marginal yang rentan, pengembangannya menuntut perencanaan yang teliti, dengan menggunakan teknologi yang tepat dan pengelolaan yang baik, sehingga mutu dan kelestariannya dapat dijaga untuk menunjang pembangunan yang berkesinambungan. Pengembangan lahan rawa pasang surut di Indonesia tidak terlepas dari tujuan pembangunan nasional, di antaranya: 1) meningkatkan produksi pangan dan ekspor komoditi nonmigas; 2) menciptakan kesempatan kerja dan memberikan dasar sumber daya untuk penduduk pendatang yang berasal dari daerah padat penduduk; 3) pemerataan pembangunan; 4) memperbaiki penyebaran pendapatan, dan 5) menunjang program transmigrasi.

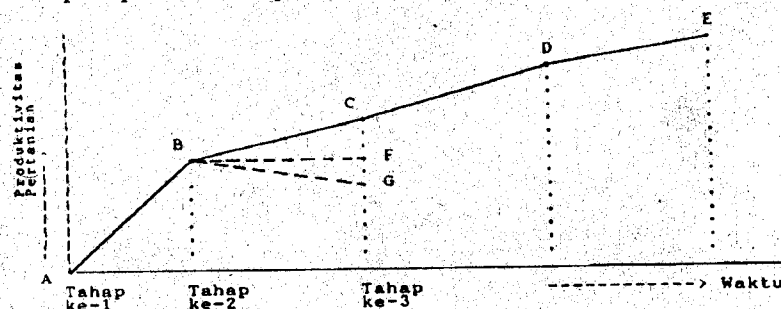
Sasaran yang ingin dicapai dalam pengembangan daerah rawa (Direktorat Rawa, Dept. P.U., 1983) antara lain meliputi: (1) penyediaan lahan usaha pertanian dan pemukiman baru bagi para transmigrasi yang akan dipindahkan dari daerah padat penduduk, untuk menunjang program transmigrasi; (2) memperluas lahan usaha budidaya pertanian, dalam rangka menunjang peningkatan produksi pangan maupun komoditi hasil pertanian untuk ekspor dengan spektrum yang lebih luas; (3) membangun dan mengembangkan daerah-daerah terpencil di pulau-pulau di luar Jawa dalam rangka usaha pemerataan pembangunan nasional; (4) merangsang dan mendorong pembangunan wilayah, dengan membangun pusat-pusat pengembangan produksi; dan (5) dalam rangka usaha memperkokoh bidang Hankamnas di daerah-daerah perbatasan, yakni dengan membuka dan mengembangkan daerah-daerah yang langka penduduknya dengan mengembangkan desa-desa dan pusat-pusat pemukiman baru sehingga diperoleh suatu rantai rangkaian kubu pertanian yang cukup tangguh sepanjang garis pantai.

Pengembangan daerah rawa dilaksanakan secara bertahap yang disesuaikan dengan berbagai faktor yang mempengaruhinya, antara lain: (1) karakteristik daerah rawa; (2) ketersediaan dana; (3) rencana pem-

faatan setelah dikembangkan (reklamasi), dan (4) masyarakat yang akan memanfaatkannya.

### Model pembangunan

Model pembangunan lahan rawa pasang surut yang digunakan Pemerintah Indonesia adalah Pendekatan Biaya Rendah dan Pembangunan Bertahap, seperti terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Model pembangunan rawa/pasang surut

Pembangunan tahap pertama bertujuan memperluas areal lahan yang baik untuk pertanian. Untuk memungkinkan pembangunan daerah-daerah luas dalam keterbatasan sumber dana diikuti oleh konsep biaya rendah dan teknologi sederhana. Hasil yang diharapkan dari cara ini ialah sistem usahatani tadah hujan pada lahan-lahan yang tidak diratakan dan tanpa introduksi pengelolaan tanah dan air yang baik; yang berarti pemanfaatan suboptimal dari sumberdaya yang tersedia. Produktivitas lahan hanya akan mencapai titik B.

Setelah intervensi pemerintah yang pertama, para petani selanjutnya membersihkan, membuat galengan, meratakan dan mengeringkan lahan, sehingga potensi produktivitas lahan akan meningkat. Dapat dikemukakan bahwa produktivitas pertanian akan meningkat melalui garis BC. Periode ini akan berakhir, misalnya pada saat potensi lahan dapat melebihi prasarana hidrolik. Pada saat ini perlu dilakukan intervensi pembangunan tahap kedua. Hal ini bertujuan untuk menciptakan tipe usahatani yang bercorak lebih intensif, sedang kekurangan-kekurangan pada pembangunan tahap pertama dapat juga diperbaiki pada tahap kedua ini. Secara hi-

potesis produktivitas pertanian akan meningkat sejalan dengan garis CD. Dalam periode berikutnya, keselarasan penggunaan faktor-faktor produksi sedikit demi sedikit akan meningkatkan lagi produktivitas lahan melalui jalur DE. Setelah itu dapat diramalkan pembangunan tahap ketiga.

Pada saat ini, pengembangan sebagian besar daerah lahan rawa pasang surut belum sampai pada garis BC. Agar produksi pertanian dapat mencapai titik C dan kemudian meningkat melalui garis CD, perlu ada usaha yang sungguh-sungguh, yang terlepas dari ketersediaan dana Pemerintah Indonesia. Usaha tersebut meliputi pokok-pokok penting sebagai berikut: (1) peningkatan penggunaan sarana produksi pertanian; (2) adaptasi pola tanam dan varietas baru; (3) program pemberantasan hama penyakit yang efektif; (4) menghilangkan hambatan-hambatan sosial yang mungkin terjadi; (5) tata pengolahan tanah dan air yang juga meliputi sistem irigasi, dan (6) perbaikan pasca panen.

Untuk mengefektifkan investasi lebih lanjut dalam meningkatkan produktivitas lahan rawa pasang surut yang telah dibangun, menunjang program pemerintah dalam mempertahankan tingkat pengembalian penerimaan (*rate of return*) yang layak bagi pembangunan lahan rawa pasang surut di masa depan, dan untuk menentukan kendala teknis, ekonomis maupun sosial yang ada, harus dilakukan usaha pengembangan sistem usahatani. Hal ini akan meliputi berbagai bentuk usahatani serta kaitan antara berbagai usaha maupun antara para petani dengan lingkungannya. Pengembangan usahatani bertujuan menentukan cara untuk meningkatkan efisiensi dalam memanfaatkan sumber daya yang tersedia. Hal ini akan dapat dicapai melalui penelitian tentang berbagai sistem produksi dan konsumsi (misalnya pola tanam, produksi ternak, kerajinan rumah tangga) dan lingkungan usahatani (yaitu yang bersifat fisik, sosial, ekonomi dan biologik).

Pemerintah telah memilih pendekatan dengan biaya rendah dan pembangunan bertahap karena keterbatasan dana dalam pengembangan lahan rawa tersebut. Pendekatan ini berakibat pengembangan lahan secara ekstensif pada tahap awal yang menyebabkan produktivitas rendah sehingga pendapatan juga rendah. Oleh karena itu para transmigran diberi lahan seluas 2 hektar agar penghasilannya layak. Pendekatan biaya rendah ini memberi peluang bagi pengembangan lebih lanjut, karena kemampuan lahan dapat ditingkatkan jika dana dan teknologi tepat-guna tersedia.



Pembiayaan kegiatan pengembangan rawa

Sampai Pelita III, luas lahan rawa yang telah dibuka ialah 751.286 hektar, meliputi 639.909 hektar lahan rawa pasang surut dan 111.377 lahan rawa lebak. Biaya per hektar pembukaan lahan rawa/pasang surut mulai Pelita I sampai Pelita II bervariasi seperti pada Tabel 1.2. Pada Pelita I biaya per hektar pembukaan lahan rawa pasang surut mencapai Rp 185.139,-, sementara rata-rata biaya pembangunan irigasi hanya Rp 70.946,-, berarti biaya pembukaan rawa pasang surut mencapai 261 persen rata-rata biaya pembangunan irigasi. Tetapi mulai Pelita II biaya pembangunan per hektar lahan rawa menurun secara persentase, meskipun nilai rupiahnya naik. Rata-rata biaya pembangunan lahan rawa/pasang surut per hektar antara Pelita I dan III ialah Rp 240.125,-.

Tabel 1.2. Total biaya pembangunan irigasi dan pembangunan rawa/pasang surut per hektar di Indonesia (pada harga yang berlaku)

Pelita	Rp		
	Rata-rata biaya Pembangunan Seluruh irigasi	Rawa	Rawa terhadap seluruh Irigasi (%)
I	70.946	185.139	261
II	374.726	291.766	78
III	1.023.830	241.379	24

Dalam Pelita I dan III seluruh biaya pembangunan rawa di Indonesia yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Pengairan mencapai Rp 2,640 milyar dengan alokasi biaya setiap tahun seperti yang disajikan pada Lampiran 1.1 dan 1.2. Dalam Pelita IV, rencana biaya pengembangan rawa Rp 6,329 milyar, tetapi karena kesulitan dana nampaknya rencana tersebut tidak dapat diwujudkan. Biaya Pembangunan Pengairan dan Pembangunan Rawa tiap tahun dalam Pelita I sampai Pelita III terdapat dalam Lampiran 1.1 dan 1.2.

Sumber biaya pembangunan berasal dari APBN dan bantuan dari lembaga internasional dan negara-negara tertentu yang tertarik dengan pengembangan rawa di Indonesia.

Pengembangan rawa lebak

Untuk melihat gambaran pengembangan lahan rawa lebak, diambil kasus salah satu lahan rawa lebak yang sudah dikembangkan di kawasan Rawa Sragi, di Propinsi Lampung. Proyek ini terletak di kedua sisi Sungai Sekampung Hilir, yang luasnya sekitar 15.000 hektar. Sebelum direklamasi, banjir tahunan Sungai Sekampung selalu melanda daerah ini dan selama musim hujan (Januari-April) selalu tergenang air. Di lain pihak, pada musim kemarau sebagian dari daerah ini menderita kekeringan akibat kekurangan hujan dan tidak dilakukan konservasi air.

Dari tahun 1952 sampai 1974, semua kegiatan reklamasi di Rawa Sragi dilakukan secara swakarsa. Tahun 1974 Departemen Pekerjaan Umum mulai melancarkan program peningkatan dan ekstensifikasi reklamasi. Semula disain Rawa Sragi dibuat oleh sebuah perusahaan konsultan swasta dari Bandung, baru pada tahun 1976 dilakukan perubahan oleh para ahli rekayasa, selanjutnya tahun 1977 pekerjaan konstruksi bangunan mulai dikerjakan.

Proyek Rawa Sragi ini pada tahun 1978 mendapat bantuan teknik dan keuangan dari Pemerintah Belanda. Pengembangannya dititikberatkan pada teknologi rendah untuk drainase dan pengamanan banjir (tanpa pompa), baru pada tahap berikutnya irigasi dengan pompa dari Sungai Sekampung dan eksploitasi air tanah dilakukan. Proyek Rawa Sragi terdiri dari dua bagian, yaitu Rawa Sragi I dan Rawa Sragi II.

Tujuan teknis dari konstruksi pengaman banjir dan drainase Rawa Sragi ialah (1) untuk melindungi daerah dari banjir yang diakibatkan oleh Sungai Sekampung dan anak-anak sungainya; (2) untuk memindahkan aliran dari daerah tinggi yang berdekatan; (3) drainase akan mengurangi kelebihan air hujan di daerah proyek; (4) meningkatkan konservasi tanah dan air; (5) memadukan sistem irigasi yang ada ke dalam disain, dan (6) melaksanakan eksploitasi dan pemeliharaan seluruh sistem secara efektif.

Proyek Rawa Sragi I meliputi areal seluas 7.700 hektar di mana areal seluas 1.050 hektar diberi air dari Sungai Pisang. Pada areal irigasi ini, 450 hektar mengalami kesulitan drainase sehingga hanya dapat ditanami padi sekali setahun, sedangkan sisanya 600 hektar, dapat ditanami dua kali setahun. Daerah yang tidak mendapat air irigasi dapat ditanami padi tadah hujan sekali setahun diikuti dengan tanaman palawija, kecuali areal seluas 380 hektar yang mengalami kesulitan drainase parah, hanya mampu ditanami padi sekali setahun.

Proyek Rawa Sragi II meliputi areal seluas 7.300 hektar. Seperti pada

proyek Rawa Sragi I, didirikan bangunan pengaman banjir di Rawa Pisang yang terdiri dari tanggul sepanjang Sungai Sekampung, Sungai Asin, Way Belang dan Pantir juga dibangun 3 buah saluran utama yang dihubungkan dengan laut untuk mengalihkan banjir dari pengaliran sebelah barat. Sistem penyaluran kelebihan air hujan sama dengan Rawa Sragi I.

#### *Pengembangan lahan rawa pasang surut di Indonesia*

Beberapa generasi penduduk Indonesia telah mengadakan reklamasi lahan-lahan rawa pasang surut di Sumatera dan Kalimantan. Kebun-kebun kelapa terdapat di sepanjang pantai, mulai Medan sampai Karang Agung di Sumatera Selatan. Usahatani tersebut dibangun oleh orang-orang Melayu dan orang-orang Bugis dengan menggunakan sistem penanaman padi terlebih dahulu, kemudian setelah beberapa tahun diubah menjadi daerah penanaman kelapa. Dalam beberapa tahun suatu usahatani dapat memiliki pohon kelapa seluas 10-20 hektar sehingga memberikan penghidupan yang dapat mencukupi kebutuhan hidup.

Di Kalimantan, daerah pantai dekat kota-kota utama dan sepanjang sungai-sungai utama telah direklamasi oleh orang-orang Banjar dengan menggunakan sistem yang sama dengan sistem yang digunakan di Sumatera.

Baru menjelang akhir tahun 1930-an, Pemerintah Indonesia mulai membuka daerah-daerah ini untuk para transmigran. Lokasi pertama berada di Purwosari, sepanjang saluran Tamban di Kalimantan Selatan. Pemerintah membuka kanal-kanal dan memberikan bantuan bahan makanan kepada para pemukim, yang kemudian membuka lahan, membangun rumah-rumahnya dan setelah beberapa tahun kemudian membangun daerah tersebut menjadi sebuah daerah masyarakat pertanian yang mampu memenuhi kebutuhan hidupnya.

Setelah kemerdekaan, pemerintah membangun lima kanal utama yang menghubungkan sungai-sungai Barito, Kapuas, dan Kahayan di Kalimantan Selatan. Begitu suatu kanal selesai dibangun, maka orang-orang Banjar setempat dan beberapa transmigran spontan menggali kanal sekunder dan tersier, membersihkan lahan dan menanam padi serta kelapa. Dua puluh hingga tiga puluh tahun kemudian tampak jelas bahwa daerah tersebut telah berhasil diubah dari rawa pasang surut menjadi daerah pertanian yang produktif.

Pada tahun 1975 badan-badan internasional memberikan perhatian dengan memberikan pinjaman untuk membantu pembangunan daerah-daerah rawa pasang surut yang memiliki banyak potensi ini. Bank Dunia

(IBRD) telah membantu Indonesia melalui berbagai pinjaman seperti irigasi VII, irigasi XII dan proyek Reklamasi Rawa I (FSRP). Pinjaman yang terakhir yaitu Second Swamp Reclamation Project (SSRP) meliputi pengembangan proyek rawa pasang surut Karang Agung seluas 9.000 hektar di Propinsi Sumatera Selatan. Pada saat ini sedang dalam peninjauan untuk kemungkinan Bantuan Reklamasi Swamps III.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pengembangan lahan rawa pasang surut di Indonesia dilakukan oleh masyarakat secara langsung dan oleh pemerintah.

Pengembangan lahan rawa pasang surut oleh pemerintah dikaitkan dengan program transmigrasi. Selama Pelita I sampai dengan Pelita III luas lahan rawa pasang surut yang telah dibuka dengan bantuan pemerintah mencapai 569.942 hektar dan penempatan transmigran 92.790 KK (lihat Tabel 1.3.).

**Tabel 1.3.** Target dan realisasi pengembangan lahan rawa pasang surut di Indonesia

Tahun Pelita	Sasaran		Realisasi	
	Ha	KK	Ha	KK
I	33.092	-	33.092	9.327
II	248.727	17.500	208.311	15.970
III	358.035	77.200	328.539	67.493
Jumlah	639.854	94.700	569.942	92.790

Pembukaan lahan rawa pasang surut paling luas dilakukan pada Pelita III, dan demikian pula penempatan transmigran.

Lokasi-lokasi pembukaan lahan rawa pasang surut Pelita I sampai Pelita III dapat dilihat pada Lampiran 1.3.

#### **Kendala Pengembangan Lahan Rawa**

Walaupun potensi pertanian lahan rawa dinilai medium hingga tinggi akan tetapi masih banyak sekali kendala yang harus dihilangkan. Faktor pembatas sangat luas dan meliputi masalah pertanian dan faktor sosial ekonomi, seperti kemasaman tanah, air minum, sanitasi, pemukiman, dan sebagainya. Beberapa faktor akan dibahas lebih rinci di bawah ini.

*Kemasaman lahan dan salinitas air*

Telah disebut di atas bahwa lahan rawa pasang surut mempunyai potensi sifat masam. Hal ini disebabkan karena air laut banyak membawa ion sulfat. Selama proses pengendapan berlangsung, ion sulfat ditransformasi menjadi sulfida dan sulfur oleh jasad renik. Proses reduksi terjadi pada keadaan anaerob dan ketersediaan bahan organik. Dengan adanya senyawa besi (Fe) maka pembentukan pirit akan terjadi, dan jika keadaan kering senyawa tersebut terurai karena pirit tidak stabil, seperti jika berada di dalam lumpur. Senyawa tersebut diubah oleh suatu bakteri khusus. Jika keadaan masam senyawa pirit berdisosiasi menjadi ion ferro dan sulfur, unsur sulfur inilah yang diubah menjadi masam sulfat oleh bakteri *Thiobacillus Thiooxydans*. Walaupun banyak sekali ion  $H^+$  terbentuk ketika bahan berpirit kena udara, namun penurunan pH dihalangi oleh tanah itu sendiri. Penetralkan terjadi melalui beberapa cara, di antaranya: pembentukan jarosite, penetralan oleh hasil disosiasi mineral-mineral hijau seperti khlorite, khamosite dan glaukonite. Tingkat kemasaman terakhir merupakan hasil reaksi pemasaman dan penetralan di atas. Biasanya tanah berpotensi asam sulfat mempunyai pH sekitar 7, tetapi setelah mengalami areasi, pH turun menjadi lebih kecil dari 3,5.

Tingkat kemasaman ini selain tergantung pada jumlah pirit, juga ditentukan oleh kecepatan mobilisasi penetralan dan kecepatan pembentukan asam sulfat. Pembentukan asam yang melewati daya sangga tanah menghancurkan struktur kisi mineral liat dan Al, Mg serta Si dilepaskan. Hal ini terjadi jika drainase dilakukan dengan tiba-tiba dan salurannya dalam. Dalam keadaan seperti ini, pH tanah di areal ini dapat mencapai 3,0 dan tidak akan ada tanaman yang dapat tumbuh di lahan tersebut pada keadaan ini.

Sistem persawahan akan membuat pirit stabil sehingga tidak membahayakan tanaman. Saluran drainase yang dangkal tetapi rapat, akan sangat efektif mencegah derajat kemasaman rendah di permukaan, selain itu menjaga tanah bagian bawah tetap jenuh air. Pengapuran sedang yang disertai pencucian tanah dengan mengatur drainase dan irigasi melalui saluran terpisah, akan menetralkan pengaruh kurang baik dari kemasaman yang mungkin terjadi. Pupuk P mungkin diperlukan mengingat pembentukan  $Fe(OH)_3$ , akan menurunkan persediaan P. Karena dalam proses pemasaman ion besi dan magnesium dilepaskan, maka pupuk K diperlukan untuk menjaga kesetimbangan kation.

Selain itu pada daerah rawa pasang surut sering terjadi intrusi air asin

dengan kandungan Mg cukup besar, yang dapat mengakibatkan serapan ~~K~~ terganggu dan bahkan mematikan tanaman. Desalination (awasalinisasi) dengan air tawar, sering berjalan lambat karena proses pencuciannya terhambat oleh terjadinya peptisasi liat (Widjaja, 1986).

*Pengelolaan tanah dan air*

Tanah di lahan rawa, yang sering juga disebut tanah gambut, mempunyai sifat fisik dan kimia yang kurang menguntungkan. Karena itulah dalam pengelolaannya diperlukan teknologi yang tepat. Tanah gambut jika selalu tergenang tidak mempunyai sifat seburuk lahan gambut yang terbuka, tetapi hanya beberapa komoditi pertanian yang dapat tumbuh dalam keadaan tergenang, di antaranya padi, keladi dan sagu. Pada umumnya, tanaman memerlukan keadaan awarawang. Penjajakan keadaan hara tanah gambut dari rawa-rawa di Riau di rumah kaca menunjukkan reaksi padi sawah terhadap pemberian N, P, S, K atau kapur ( $CaCO_3$ ) juga unsur mikro, terutama Cu. Pembuatan saluran drainase diperlukan untuk mengalirkan kelebihan air. Saluran ini harus dilakukan perlahan-lahan, tidak drastis tetapi cukup untuk membuang genangan air yang berlebihan. Dalam pembuatan parit, kedalamannya diperhitungkan sehingga gambut masih tetap agak basah, tetapi daun, ranting dan batang pohon yang ditebang ketika membuka lahan, dapat menjadi kering. Pembakaran tumpukan potongan batang-batang kecil, ranting dan daun dalam jalur-jalur diusahakan supaya tidak menimbulkan bahaya kebakaran pada gambut, itulah sebabnya gambut harus dipertahankan agar tetap basah. Setelah permukaan gambut turun, biasanya lahan mulai ditanami sebagai kebun campuran. Kemudian parit diperdalam dan diperlebar, dan selalu disesuaikan dengan muka air tanah. Kemudian dibuat pula saluran sekunder yang tegak lurus pada saluran drainase primer dan hanya membatasi dua pemilikan lahan. Pengelolaan tanah yang baik dapat mempercepat proses pematangan lahan. Pengapuran merupakan syarat pertama dalam memperbaiki kesuburan tanah gambut, juga pupuk kimia lainnya. Pemakaian pupuk kandang dianjurkan untuk dapat mempercepat proses pematangan dan memperbaiki sifat fisik dan kesuburan tanahnya. Juga pemberian abu bekas pembakaran gambut memberi pengaruh yang baik pada tanaman di lahan gambut. Tetapi pembakaran gambut tidak dianjurkan, bahkan bisa berbahaya jika dilakukan. Tetapi pembakaran semak-semak, rumput dan kumpai yang telah dibabat dan kering dapat dilakukan dengan selalu memelihara permukaan air tanah gambut agar tetap basah, sehingga



gambut tidak akan terbakar.

Selain itu penguasaan air merupakan salah satu syarat keberhasilan pengembangan lahan rawa. Drainase yang bertahap juga dapat mencegah kebakaran gambut, selain itu juga mempercepat kematangan tanahnya. Proses pematangan akan memperbaiki sifat-sifat fisik tanah gambut seperti retensi air, daya lepas air dan daya hantar hidrolik serta daya tahan gambut.

Drainase diatur untuk mencapai muka air tanah tertentu, tergantung pada kebutuhan pertanian, adanya irigasi dan sifat gambut itu sendiri. Biasanya bila tidak ada irigasi, muka air tanah diusahakan 30 cm dari permukaan tanah untuk jenis tanaman pangan, sedangkan bila ada irigasi muka air tanah sebaiknya 45 cm dan 60 cm untuk tanaman pakan dan pangan.

Disamping itu kebutuhan air irigasi tergantung pada tingkat kematangan gambut itu sendiri. Makin tinggi tingkat kematangannya maka makin kecil kapasitas air. Keefektifan sistem irigasi tergantung pada pori lapisan bawah, persediaan air dan jarak antara saluran (biasanya jarak antara dua saluran irigasi ialah 60 cm).

#### *Kelainan fisiologis tanaman*

Di lahan gambut, tanaman sering menunjukkan kelainan fisiologis seperti gejala "midcrown chlorosis" pada tanaman kelapa sawit akibat kekurangan "trace elements" Cu, Zn dan Mn. Pada tanaman coklat, kelainan ini disebut "sickle leaf" karena kekurangan unsur Zn dan pada nanas dikenal dengan "crookedeck". Pada tanaman kopi, cabang-cabangnya dapat mengering sampai keputih-putihan, di bagian tengah terjadi "interval chlorosis" yang semakin gawat ke arah pucuk. Hal ini sama seperti yang terjadi pada tanaman kelapa sawit. Tanaman padi pun dapat keracunan Fe dan kekurangan Cu dengan gejala kecoklatan di kedua sisi daunnya dan hanya dengan pemberian Cu-lah tanaman padi dapat membentuk malai bernas pada lahan gambut.

#### *Pengendalian hama tanaman*

Hama merupakan kendala yang penting pada produksi tanaman, terutama kerusakan tanaman oleh tikus sering merupakan masalah menonjol di berbagai daerah rawa pasang surut.

Pengalaman dalam pengembangan pertanian pada proyek-proyek transmigrasi lahan pasang surut memberikan banyak bukti bahwa serangan hama

tikus ini merupakan bencana bagi produksi tanaman pangan, terutama di daerah-daerah yang mengusahakan penanaman ganda (*double cropping*) tanaman padi. Pernah dilaporkan kerusakan hingga 50 persen dari hasil padi. Untunglah bahwa percobaan di pemukiman Barambai (Kalimantan Selatan) telah membuktikan bahwa persentase ini dapat diturunkan hingga kurang dari 10 persen karena menggunakan cara-cara pemberantasan yang cukup baik (UGM, 1977).

Tikus yang masuk ke lahan padi merupakan penghuni asli di hutan rawa. Lingkungan yang demikian ini nampaknya sangat baik untuk tikus dalam mempertahankan hidup dan berkembang biak, lingkungan tersebut memberikan perlindungan dan pangan kalau di lapangan belum ada tanaman.

Kerusakan tanaman pangan yang disebabkan oleh tikus nampaknya semakin meningkat, kalau jaraknya ke hutan semakin dekat: di proyek Barambai hasil padi 1975/1976 (varietas padi lokal yang merupakan tanaman dominan) berkurang 5-10 persen pada jarak sekitar 4-5 km dari hutan, sedangkan kerusakan tersebut dapat meningkat menjadi 50 persen di daerah yang lebih berdekatan dengan hutan (SAMINO, 1976 di dalam INDECO, 1986).

Bidang tanah dalam lokasi proyek dengan vegetasi liar atau semak-semak, tanah bera, tanah yang ditinggalkan, tanggul-tanggul kanalisasi dengan pertumbuhan gulma yang subur, jalur hijau dan sebagainya, dikenal sebagai tempat berkembang biak yang potensial untuk tikus. Pemberantasan tikus menjadi lebih sulit mengingat tidak ada tanaman yang resisten terhadap tikus, kecuali beberapa tanaman beracun seperti varietas ubi kayu yang pahit. Selain itu hama lain yang cukup dominan ialah babi hutan serangga pengganggu seperti wereng, belalang dan lain-lain.

#### *Masalah sosial ekonomi*

Pembukaan lahan rawa biasanya dimulai dari daerah yang sangat terpencil. Hal ini menyebabkan biaya pembukaan lahan per hektar menjadi sangat tinggi dan keterbukaan wilayah (*accessibility*) kurang baik, sehingga pemasaran kelebihan produksi dan penyediaan sarana produksi pertanian sangat terhambat.

Keadaan di atas menyebabkan teknologi lambat berkembang dan pendapatan usahatani rendah; akibatnya merupakan ancaman bagi kelanjutan pengembangan, karena petani beralih mencari kesempatan usaha lain dan tidak mau menggarap lahan yang telah mereka terima.

Dalam laporan Pengkajian Pemanfaatan Tata Pengairan/Lahan Pasang Surut dan Kemampuan Petani dalam Eksploitasi dan Pemeliharaan di 6 Propinsi Sumatera dan Kalimantan (Wirawan, 1986), rata-rata pendapatan petani Rp 512.873,- per tahun per kepala keluarga, sementara itu pengeluaranannya Rp 464.326,-. Pendapatan tersebut sudah termasuk pendapatan dari luar sektor pertanian.

### **Pendayagunaan Lahan Rawa/Pasang Surut untuk Pertanian**

#### *Pola pendayagunaan yang telah diadopsi petani*

Petani mempunyai pola pendayagunaan lahan yang sangat sesuai dengan sifat-sifat lahannya. Dapat dibedakan 3 pola yaitu: persawahan; kebun kelapa/pekarangan; dan kebun campuran: jagung, ubi kayu, ubi jalar, nanas dan pisang.

Persawahan terdapat pada lahan tipe A yang langsung dan selalu mendapat luapan air pasang. Persawahan terbatas pada dataran alluvial di kanan kiri sungai atau di belakang pematang sungai; semua tanah alluvial yang terluapi air pasang dijadikan persawahan. Tanah gambut tidak dipersawahkan kecuali tanah gambut dangkal atau tanah gambut yang telah menjadi dangkal dan terluapi air pasang.

Pekarangan umumnya terletak di kanan kiri parit primer yang dibuat secara gotong royong sebelum pembukaan hutan. Pekarangan juga dibuat di pematang sungai, yaitu lahan tipe D yang cukup lebar. Semakin ke hulu, pematang itu semakin tinggi dan lebar. Pekarangan ditanami kelapa di samping tanaman pohon lainnya.

Kebun campuran merupakan lahan yang baru dibuka. Biasanya kebun campuran terdapat di belakang pekarangan di tengah-tengah di antara dua parit primer, atau di ujung parit primer yang merupakan daerah pengembangan. Setelah 2-3 tahun sebagai kebun campuran, kelapa mulai ditanam dalam lubang 40-60 cm dalamnya. Sifat sebagai kebun campuran tetap dipertahankan sampai kelapa cukup besar.

Bila dikaji ternyata petani telah menerapkan hasil penelitian para pakar tanah gambut. Menurut Driessen dan Soepraptohardjo, permukaan lahan gambut mengalami penurunan (*subsidence*) sangat cepat dalam tahun-tahun pertama sampai tahun ke-2 dan 3 setelah dibuka. Pada tahun ke-6-8 penurunan sudah relatif kecil, dan keseimbangan tercapai setelah 8-10 tahun. Jadi, petani menanam kelapa setelah periode penurunan permukaan yang sangat cepat lewat. Petani juga memperhitungkan penurunan relatif

kecil yang terjadi setelah itu, dengan menanam bibit kelapanya di dalam lubang. Kelapa yang ditanam tersebut mulai berbuah tatkala proses penurunan permukaan mencapai keseimbangan. Kelapa tidak tumbang seperti ditakutkan para pakar. Mungkin karena sistem pengembangan lahannya sesuai dengan pertumbuhan kelapa dan pola kebun campuran memperbaiki sifat fisik atau daya tahannya, dengan demikian mempercepat proses pematangan gambutnya.

Sistem surjan dikembangkan pada lahan tipe B dan C dengan pola penanaman padi sawah di bagian kolamnya dan penanaman kelapa dan tanaman pohon ditabukannya. Dalam menentukan jarak, lebar dan tinggi tabukan, perlu diperhitungkan kedalaman lapisan tanah berpirit dan tinggi permukaan air tanah. Genangan yang terlalu dalam tidak baik untuk pertumbuhan padi. Tabukan itu harus sempit dan jarang pada lahan tipe B, lebih-lebih kalau lapisan tanah berpirit dekat permukaan tanah. Sebaliknya di lahan tipe C tabukan itu lebar dan dekat satu sama lain sehingga bagian kolamnya sempit- sempit.

Penggunaan lahan di rawa pedalaman/lebak, sama seperti di lahan rawa pasang surut. Lahan yang letaknya lebih tinggi daripada muka air, yaitu lebak pematang, digunakan sebagai pekarangan. Sering tidak mungkin untuk membuat kebun, karena lebak pematangnya sempit. Kelapa hanya ditanam di sekitar rumah, di lahan pekarangan.

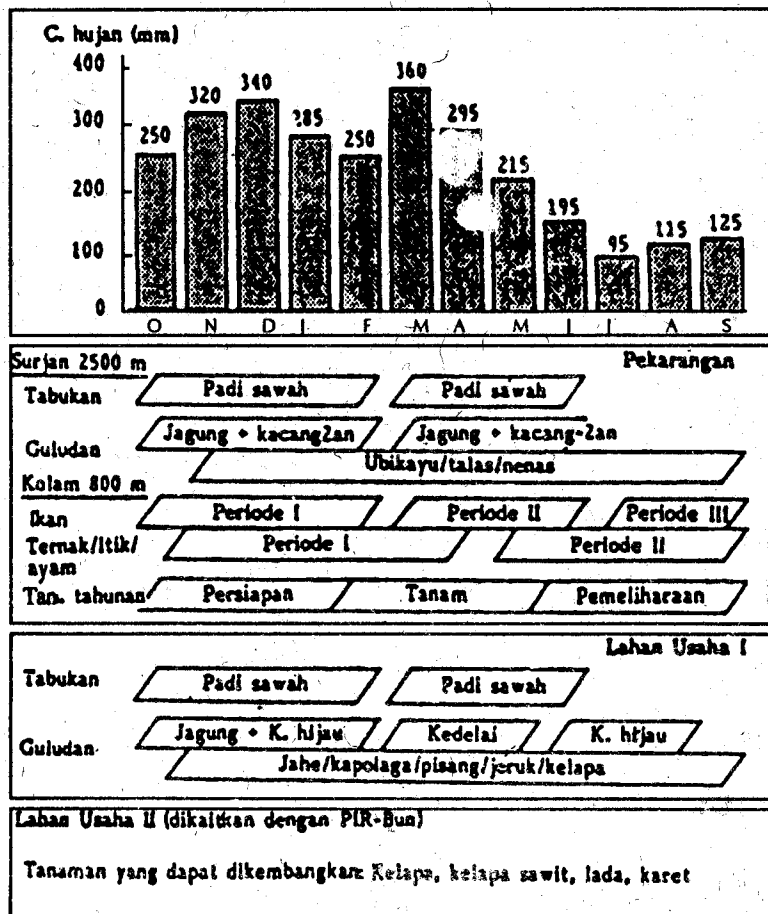
Lebak tengah dan dalam ditanami padi sawah. Di lebak tengah padi ditanam pada permulaan musim hujan atau sebagai gogo ranch. Padi ditanam menjelang musim kemarau atau dengan melakukan beberapa kali pemindahan (*transplanting*) sesuai dengan surutnya air di lebak dalam. Pengembangan lahan lebak dilaksanakan dengan membangun tanggul pencegah banjir, pembuatan saluran drainase, dan pintu-pintu air, baik sebagai pencegah air banjir masuk saluran maupun untuk mengatur air surut dari lebak tengah. Sistem surjan kemudian dapat dikembangkan di lebak tengah serta penanaman padi dua kali dimungkinkan, baik di lebak dalam maupun di bagian kolam dari sistem surjan di lebak tengah.

Dalam penelitian Badan Litbang Pertanian ini, strategi untuk meningkatkan produktivitas lahan rawa pasang surut dilakukan dengan cara: (1) mengubah lingkungan menjadi cocok untuk pertumbuhan tanaman yang diinginkan dan (2) menanam varietas yang toleran dan dapat tumbuh baik pada tanah tersebut.

Cara pertama dapat dilaksanakan dengan ameliorasi (pengapuran, memberikan bahan organik, drainase) dan menambahkan unsur hara yang berada dalam keadaan kahat. Cara kedua akan jauh lebih murah yaitu

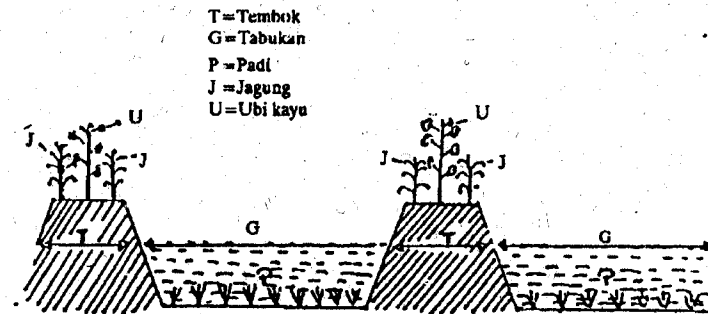
dengan introduksi varietas/galur yang toleran terhadap tanah masam.

Pola tanam yang diintroduksi pada lahan potensial seperti Gambar 1.3., telah mempertimbangkan kemungkinan melakukan diversifikasi.



Gambar 1.3. Distribusi curah hujan dan pola tanam untuk tiap persil lahan usahatani transmigrasi di pasang surut

Sistem usahatani yang dilakukan ialah dengan sistem surjan dengan gambar profil seperti pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4. Profil dari tembakan dan sawah untuk penanaman sistem surjan di sawah pasang surut

Di lahan pekarangan, petani membuat surjan secara bertahap atau secara gotong royong pada areal sekitar 0,25 ha (luas surjan di pekarang berkisar antara 0,15-0,30 ha) yang membutuhkan tenaga kerja sebesar 98 hari orang kerja (HOK). Apabila tenaga kerja keluarga yang tersedia sekitar 1,5 HOK, maka untuk pembuatan surjan tersebut diperlukan waktu sekitar 65 hari. Untuk itu pembuatan surjan di pekarangan disarankan untuk dilakukan sekaligus. Berbagai tanaman seperti padi sawah, kedelai, jagung, pisang dan sayuran, diatur di tabukan dan guludan. Selain itu, ternak itik dan ikan pun merupakan komponen penting dalam model usahatani yang diatur di sekitar rumah.

Pada lahan usaha I (0,75 ha), pembuatan surjan secara langsung memerlukan tenaga kerja sekitar 400 HOK. Mengingat keterbatasan tenaga kerja keluarga, pembuatan surjan di lahan ini seyogyanya dilakukan secara bertahap. Model usahatani yang dirancang di sini melibatkan beberapa komoditi terutama padi sawah di bagian kolam dan tanaman keras seperti kelapa dan jeruk atau tanaman lain seperti jahe dan pisang di bagian tabukan. Pada tahap-tahap awal, ketika tanaman keras masih muda, palawija ditanam di bagian guludan.

Tabel 1.4. memperlihatkan hasil tanaman, ternak, dan ikan yang diperoleh baik dari lahan pekarangan maupun lahan usaha I. Pada tahap awal, tanaman pangan masih terlihat dominan, tetapi secara berangsur diharapkan komoditas nonpangan akan memberi sumbangan pendapatan yang lebih besar kepada petani. Hasil padi sawah di lahan pekarangan dan lahan usaha I bervariasi antara 1,86-4,50 ton gabah kering per hektar. Fluktuasi hasil ini disebabkan oleh berbagai faktor, seperti keracunan pirit,

besi, hama tikus, wereng coklat dan musim kemarau panjang. Untuk menjamin kecukupan pangan keluarga petani (5 orang), setiap tahun diharapkan ketersediaan minimal 900 kg gabah kering. Hasil gabah di lahan pekarangan dari dua kali tanam per tahun sudah dapat menutupi keperluan tersebut. Dengan ditambah oleh hasil gabah dari lahan usaha I, kecukupan pangan tersebut akan lebih terjamin dan kelebihannya dapat dijual untuk keperluan lain.

Pencurahan tenaga kerja di lahan pekarangan dan lahan usaha I pada tahun I dan II masing-masing sebesar 973 dan 924 HOK (Tabel 1.5.). Kebutuhan tenaga kerja ini cukup besar dan tidak mungkin dapat dilaksanakan oleh petani pada tahun I setelah penempatan. Untuk itu dianjurkan pengusahaan secara bertahap dan berkelompok.

**Tabel 1.4.** Hasil tanaman, ternak dan ikan dari lahan pekarangan dan lahan usaha I tahun 1986/1987

Komoditi	Area (m <sup>2</sup> )	Hasil (kg)	Keterangan
<b>Pekarangan: surjan</b>			
<i>Tabukan</i>	1.400		
Padi sawah		1.129	Gabah kering (2 pertanaman)
<i>Guludan</i>	1.200		
Jagung +		3.750	Tongkol basah
Kacang hijau		96	Biji kering
Jagung +		60	Biji kering
Kedelai		240	Biji kering
Ubikayu		114	Umbi basah
Taro		56	Umbi basah
Nenas		35	Buah segar
<b>Pekarangan: bukan surjan</b>			
	450		
Tomat		468	Segar
Terong		65	Segar
Cabe		80	Segar
Pisang		25	Tandan
Telur itik		247	Butir
Ikan	800	107	Segar

Lahan Usaha I

<i>Tabukan</i>	5.200		
Padi sawah		2.967	Gabah kering
<i>Guludan</i>	2.300		
Jagung		4.500	Tongkol
Kacang hijau		134	Biji kering
Jahe		328	Kering

**Tabel 1.5.** Curahan tenaga kerja dalam sisten usahatani introduksi (MII) pada tipologi lahan pasang surut potensial di Karang Agung, Sumatera Selatan, 1986/1987

Jenis kegiatan	Curahan tenaga kerja	
	Tahun I	Tahun II dst.
<b>Pekarangan: surjan</b>		
(tanaman pangan)		
Pengolahan lahan	48	48
Penanaman	10	10
Penyiangan	32	32
Pemupukan	6	6
Pengendalian hama/penyakit	8	8
Panen dan pengolahan	64	64
Jumlah	168	168
<b>Pekarangan: bukan surjan</b>		
Tanaman Sayuran	38	38
Tanaman perkebunan <sup>1</sup>	92	92
Pemeliharaan ternak <sup>2</sup>	-	-
Pemelihara ikan <sup>3</sup>	42	10
Curahan TK di pekarangan	340	237
<b>Lahan Usaha I</b>		
<b>Tanaman Pangan<sup>4</sup></b>		
Pengolahan lahan	103	103
Penanaman	50	50
Penyiangan	67	67



### Memfaatkan Air Limbah

Pemupukan	12	12
Pengendalian hama/penyakit	18	18
Panen dan pengolahan	151	151
Jumlah	401	401
Tanaman perkebunan <sup>1</sup>	232	86
Curah TK di lahan usaha I	633	487

#### Keterangan:

1. Curahan TK pada tahun pertama digunakan untuk pembuatan lubang, penanaman, dan pemeliharaan tanaman; tahun kedua dan selanjutnya curahan tenaga kerja hanya untuk pemeliharaan tanaman.
2. Curahan tenaga kerja sulit untuk dihitung, karena setiap harinya kurang dari setengah jam.
3. Curahan tenaga kerja pada tahun pertama digunakan untuk pembuatan kolam dan panen. Sedangkan pada tahun kedua dan selanjutnya digunakan untuk perbaikan kolam dan panen.
4. Dalam tahun pertama dan kedua, palawija masih ditanam di guludan. tetapi dalam tahun ketiga sudah mulai berkurang, sehingga curahan tenaga kerja diperkirakan berkurang sebesar 20 persen, tahun keempat curahan tenaga kerja berkurang 40 persen, tahun kelima tanaman pangan tidak dianjurkan lagi.

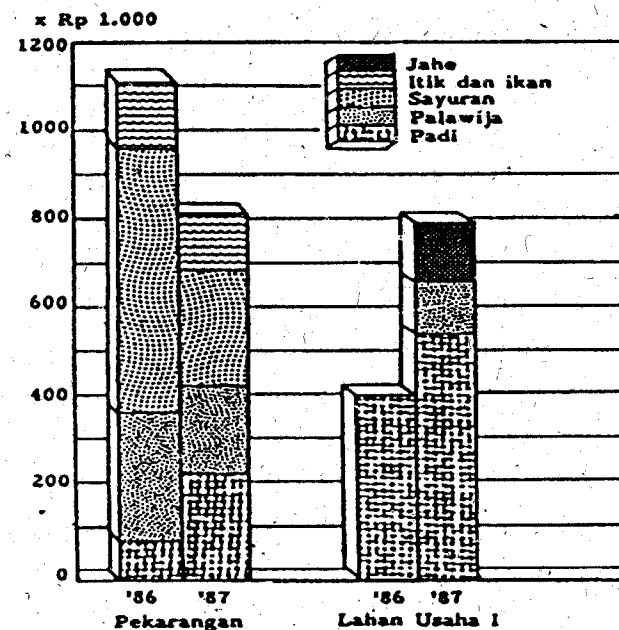
Pada tahun pertama kedatangan di daerah transmigrasi, para petani cukup mengusahakan lahan pekarangan saja. Pada tahun kedua, lahan usaha I dapat dibuka, dan pengusahaan penuh pada kedua tipe lahan ini dimulai pada tahun ketiga. Pengelolaan lahan usaha II dalam bentuk PIR-Bun dianjurkan untuk dimulai pada tahun keempat atau kelima.

Pendapatan total dari pekarangan dan lahan usaha I kurang lebih Rp 1,5 juta pada tahun pertama. Pada tahun kedua sekitar Rp 1,6 juta (Gambar 1.5). Pertambahan pendapatan ini disebabkan oleh bertambahnya hasil di lahan usaha I. Pada tahun 1986/1987 pendapatan lahan pekarangan dan lahan usaha I sudah berimbang atau masing-masing sekitar Rp 800.000,-. Pada tahun berikutnya pendapatan petani diduga akan terus bertambah karena tanaman tahunan mulai berproduksi (Gambar 1.5).

#### Kelapa sebagai tanaman perkebunan utama

Dari pengalaman yang ada, kelapa merupakan tanaman perkebunan utama pada lahan rawa pasang surut, baik di Sumatera maupun di Kalimantan. Petani transmigrasi yang mengusahakan tanaman kelapa cukup berhasil dan tanaman tumbuh dengan baik. Petani pelopor pengembangan kelapa rakyat di daerah pasang surut yang berasal dari Bugis (Sulawesi), Banjar (Kalimantan) dan Ponorogo (Jawa Timur),

### Prospek Pengembangan Lahan Pasang Surut



Gambar 1.5. Pendapatan total sistem usahatani introduksi di lahan pasang surut, Karang Agung, Sumatera Selatan, 1986 dan 1987.

Dari pengalaman petani Bugis, yang pindah dari lahan pasang surut di Riau ke Sumatera Selatan, pohon kelapa yang tumbuh baik pada awal penanaman hanya bertahan 15 tahun. Hal ini diduga karena unsur hara tertentu tersedot habis dalam selang waktu tersebut sehingga mengakibatkan tanaman kelapa mati. Untuk mengatasi hal ini sangatlah menarik jika dapat dilakukan penelitian tentang budidaya tanaman kelapa di daerah rawa pasang surut. Tanaman kelapa yang tergenang oleh pasang surut sungai dapat mengganggu pertumbuhannya, sehingga kelapa menjadi kerdil. Untuk mengatasinya perlu dibuatkan saluran drainase di antara tanaman kelapa dan dilakukan pula peninggian tanggul. Pengalaman menunjukkan bahwa dengan perlakuan ini tanaman kelapa dapat tumbuh normal kembali.

Faktor lain yang menghambat perkembangan tanaman kelapa di lahan rawa pasang surut ialah faktor pemasaran. Di Kepulauan Riau terdapat pabrik minyak kelapa yang cukup besar, sehingga hasil dari tanaman

kelapa di daerah surut Riau dapat tersalur ke pabrik. Tetapi di tempat lain, seperti di Sumatera Selatan dan Kalimantan, kelapa digunakan hanya untuk konsumsi masyarakat, sehingga harganya pun rendah, bahkan petani sulit untuk memasarkan hasil. Pengusahaan tanaman kelapa secara besar-besaran di Riau telah dilakukan oleh PT Riau Sakti United Plantation. Luas HGU 22.650 ha dan sekitar 8.000 ha telah ditanami dengan kelapa hybrida.

Untuk masa mendatang perlu dipikirkan kemungkinan membangun Industri Pengolahan Kelapa Terpadu ("Integrated Coconut Processing System"). Industri yang didirikan harus mampu menyerap seluruh bagian dari kelapa yang terdiri dari sabut, batok, daging dan air kelapa. Untuk kemungkinan ini perlu dilakukan suatu penelitian. Mungkin perlu dipikirkan juga menggunakan pola PIR/bapak angkat. Untuk Sumatera Selatan, misalnya, PUSRI mungkin dapat dianjurkan menjadi bapak angkat. Bapak angkat akan berfungsi sebagai pembeli produksi dari kebun dan melakukan pengolahan hasil, kemudian memasarkannya, baik di dalam maupun di luar negeri.

#### *Varietas unggul tanaman pangan untuk rawa pasang surut*

Dari penelitian-penelitian varietas berbagai komoditi tanaman pangan di lahan rawa pasang surut, telah ditemukan fakta bahwa terdapat beberapa varietas tanaman yang cocok untuk lahan rawa pasang surut, seperti pada Tabel 1.6.

Di samping penggunaan varietas unggul, perbaikan lingkungan lahan melalui cara pengapuran akan menaikkan produksi berbagai komoditi tanaman pangan. Pada tanaman jagung pemberian kapur 2 ton per hektar memberikan hasil tertinggi.

#### **Kelestarian Lingkungan**

##### *Tinjauan lingkungan rawa pasang surut*

Daerah rawa pasang surut adalah suatu biotop dengan ekosistem yang amat kompleks dan merupakan suatu lingkungan yang menjadi pusat evolusi bermacam-macam organisme, baik hewani maupun nabati. Secara umum ekosistem pasang surut menyebar dari daerah dataran landai ke

Tabel 1.6. Beberapa varietas tanaman yang cocok untuk lahan rawa pasang surut

Jenis Tanaman	Varietas
Padi Gogo	Hawarabunar
Padi Rawa Lebak	B. 4060-g-Ng-12 Siputih (lokal) B. 5316-20d-Mr. 4.2 B.5309-23d-Mr. 3-4 IRUZ
Padi Pasang Surut	IR 11288-13-0-69-1 Kapas Silokan Cisadane
Jagung	H6 HP-68 IC-Sel Pool 4-17
Kedelai	Orba Galulung B 3355 B 3362
Kacang Tanah	Gajah Kidang
Kacang Hijau	Bhakti 129/Bhakti Betet Gelatik
Ubu Kayu	Anyir Mentega Sampang Bandung Karet Cm 1371-6
Ubi Jalar	Pangkun Sabulan

Tomat	Nenas putih
	Jarak
	Intan
	Berlian
	Ratana

pedalaman sampai ke laut, memberikan kesempatan yang luas bagi terjadinya keragaman di daerah ini. Daerah ekosistem pasang surut merupakan daerah marginal yang berpotensi tinggi, namun perlu pemikiran yang cermat dalam pengelolaan wilayah tersebut, terutama dalam pemanfaatan sumberdaya alam potensial yang sangat bernilai untuk usaha pertanian, perikanan, peternakan, kehutanan dan lain-lain.

Keragaman sumberdaya tersebut memungkinkan pengembangan daerah ini dalam bentuk usaha pemanfaatan ganda. Namun untuk menghasilkan suatu tingkat keseimbangan dalam proses-proses ekologi yang berlangsung di rawa pasang surut, sangat diperlukan penelitian kecenderungan pengembangannya untuk pemanfaatan yang sesuai.

Apabila dilakukan sorot balik terhadap pembangunan pasang surut di Indonesia, sebagian besar proyek yang dibuka belum memperhatikan aspek lingkungan, karena pada saat itu kelestarian lingkungan belum terpikirkan akan merupakan ancaman kelestarian di kemudian hari. Baru setelah beberapa tahun kemudian disadari bahwa untuk menjaga kesinambungan produktivitas atau manfaat yang diberikan oleh suatu wilayah pembangunan diperlukan jaminan kelestarian lingkungan.

Karena itu untuk masa mendatang, baik bagi proyek-proyek yang baru maupun proyek-proyek yang telah berjalan, kajian terhadap kualitas lingkungan ini sangat diperlukan. Kegiatan-kegiatan yang dilakukan harus memperhatikan kelestarian sumberdaya, konservasi alam dan keharmonisan sosial.

#### *Pengaruh kegiatan-kegiatan di rawa pasang surut terhadap lingkungan*

Berbagai kegiatan pembangunan yang dilakukan pada lahan rawa pasang surut akan memberikan pengaruh terhadap lingkungan. Kegiatan pembangunan yang dimaksud antara lain: kehutanan, transmigrasi, perikanan, peternakan, pembangunan prasarana, angkutan dan pelayaran. Berikut ini akan diuraikan secara singkat pengaruh kegiatan-kegiatan tersebut terhadap lingkungan.

- (1) **Kehutanan.** Unsur-unsur kegiatan yang termasuk ke dalam komponen kegiatan kehutanan antara lain: tebang pilih, tebang habis, penyaradan kayu, penggergajian dan pemburuan binatang. Akibat pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya yang ada, akan terjadi perubahan komponen lingkungan geomorfologi, fauna dan tata guna lahan. Penebangan pohon bakau yang tidak terkendali akan menurunkan populasi udang, jenis-jenis ikan dan biota tertentu.
- (2) **Pemukiman/Transmigrasi.** Kegiatannya terdiri dari kontrol kepadudukan, kontrol kesehatan, pendidikan dan pembuangan sampah/limbah termasuk ke dalam komponen kegiatan pemukiman dan transmigrasi. Pengrusakan lingkungan yang dapat terjadi dalam Pemukiman/Transmigrasi ini ialah: perubahan drainase yang besar, erosi tanah di pekarangan, penurunan tebal gambut, pengendapan tanah pada muara atau mulut sungai, pembuangan sampah dan sanitasi.
- (3) **Pertanian.** Aktivitas-aktivitas terdiri dari pengelolaan tanah, penanaman/introduksi tanaman, irigasi, pengendalian hama penyakit tanaman dan pengolahan hasil. Pengolahan tanah melalui cara pembakaran yang tidak terkendali dapat mempercepat penurunan bahan organik dan gambut menjadi semakin tipis. Penggunaan obat-obatan yang tidak terkendali dapat memusnahkan organisme tertentu yang merupakan predator bagi hama/penyakit tertentu. Pembuangan limbah dari kegiatan pasca panen dapat memberikan pengaruh negatif terhadap sanitasi dan lingkungan kesehatan penduduk, tetapi dapat pula memberikan pengaruh positif terhadap perbaikan humus tanah asal dilakukan dengan cara yang baik dan benar.
- (4) **Perikanan.** Aktivitas penangkapan ikan akan berpengaruh terhadap lingkungan fauna dan keadaan perekonomian penduduk. Kegiatan penangkapan di perairan umum cenderung mengurangi jumlah dan jenis ikan. Usaha untuk menjaga kelestarian dapat dilakukan dengan tetap memberi peluang lingkungan untuk berkembangbiakan ikan seperti mempertahankan pohon-pohon bakau pada lokasi-lokasi tertentu. Selain itu dapat juga dilakukan usaha budidaya, sehingga tekanan penangkapan di perairan umum dapat berkurang.
- (5) **Peternakan.** Aktivitas peternakan akan mempengaruhi lingkungan fauna, tata guna tanah, air dan perekonomian penduduk setempat. Sebagai contoh, peternakan yang umumnya digembalakan di saluran air, kotorannya langsung jatuh ke air yang dapat menyebabkan berkembang biaknya flagellata yang merugikan bagi jenis biota air, sehingga produksi biota air cenderung menurun. Pengambilan hasil telur

dapat menambah pendapatan petani pemelihara.

- (6) **Pembuatan prasarana.** Kegiatan utama ialah pembuatan saluran, kegiatan ini akan mempengaruhi geomorfologi dan tata guna lahan. Pembuatan saluran harus terkendali, karena pembuatan saluran yang terlalu dalam serta kontrol ketinggian air yang kurang efektif mengakibatkan drainase berlebihan terhadap gambut, yang akhirnya akan menurunkan tebal gambut. Pembuatan saluran tersebut juga membuka kemungkinan air laut masuk lebih ke dalam terutama pada musim kemarau dapat mempercepat intrusi garam ke daratan, sehingga salinitas tanah akan meningkat.
- (7) **Angkutan Darat.** Pembuatan jalan dan aktivitas transportasi dapat menyebabkan erosi yang diendapkan di saluran. Hal ini terjadi karena jalan-jalan darat di daerah rawa pasang surut tanpa pengerasan. Pengendapan lumpur pada saluran akan mempercepat pendangkalan saluran dan mengurangi fungsionalitas saluran sebagai prasarana drainase. Pada akhirnya diperlukan tambahan biaya untuk eksploitasi dan pemeliharaan saluran.
- (8) **Pelayaran/Angkutan Air.** Kegiatan angkutan air yang menggunakan saluran-saluran buatan akan menyebabkan dinding saluran longsor, berarti terjadi erosi tepi saluran, sehingga saluran menjadi dangkal oleh proses sedimentasi. Disamping itu akan mempengaruhi kualitas air. Warna air akan berubah dan perkembangan biota air dapat terganggu dengan adanya tumpahan minyak dalam saluran.

Sampai seberapa jauh pengaruh kegiatan-kegiatan pembangunan yang terjadi di daerah rawa pasang surut ini belum jelas, karena itu perlu dilakukan pemantauan untuk kemudian dicarikan jalan pemecahan agar kelestarian lingkungan dapat terkendali dan terjaga dengan baik.

#### *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL)*

Kegiatan-kegiatan yang dilakukan dalam pengembangan rawa pasang surut akan mengakibatkan perubahan lingkungan. Kegiatan-kegiatan tersebut akan menurunkan atau memperbaiki kualitas lingkungan. Untuk menjaga keseimbangan ekosistem pasang surut kegiatan-kegiatan yang dilakukan harus terkendali dan ketentuan-ketentuan yang mampu mempertahankan kelestarian lingkungan harus diperhatikan.

Untuk memungkinkan program pengelolaan lingkungan, diperlukan model peramalan yang dinamis dan interaktif. Penerapan AMDAL untuk

kegiatan pembangunan di Indonesia telah diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 29 tahun 1986.

Sebagai gambaran proses AMDAL tersebut berikut ini dijelaskan secara singkat arti dari berbagai singkatan dan kegiatan yang biasa dilakukan dalam pengelolaan lingkungan.

- (1) **AMDAL** : singkatan dari Analisis Mengenai Dampak Lingkungan, yaitu keseluruhan proses dari analisis dampak, pengelolaan, perencanaan dan pemantauan untuk proyek baru atau yang sedang berjalan atau sudah selesai.
- (2) **PIL** : Penyajian Informasi Lingkungan, yaitu suatu telaah pendahuluan terhadap dampak lingkungan untuk proyek baru yang dipakai sebagai penguji, apakah diperlukan studi lebih lanjut dan mendalam.
- (3) **ANDAL** : Analisis Dampak Lingkungan, yaitu studi mendalam tentang dampak lingkungan untuk proyek baru.
- (4) **PEL** : Penyajian Evaluasi Lingkungan, yaitu telaah pendahuluan dampak lingkungan untuk proyek yang sedang berjalan atau sudah selesai. Sebagai alat penguji untuk menentukan apakah diperlukan studi yang lebih mendalam.
- (5) **SEL** : Studi Evaluasi Lingkungan, yaitu studi mendalam tentang dampak lingkungan untuk proyek yang sedang berjalan atau sudah selesai.
- (6) **RKL** : Rencana Pengelolaan Lingkungan, yaitu identifikasi berbagai kegiatan yang diperlukan untuk pengelolaan lingkungan.
- (7) **RPL** : Rencana Pemantauan Lingkungan, yaitu penyusunan rencana untuk mengetahui setiap perubahan lingkungan pada proyek yang sedang berjalan atau telah selesai.

#### **Daftar Pustaka**

1. Direktorat Jenderal Pengairan. 1985. "Rencana Pembangunan Pengairan Tahun 2000."
2. Direktorat Rawa, Direktorat Jendral Pengairan. 1983. "Bahan Expose Pengairan Bidang Rawa."
3. INDECO. 1988. "Environmental Management Studies in the Sected Transmigration Sites."
4. INDECO Duta Utama. 1986. "Proyek Penelitian Pertanian Lahan Pasang Surut dan Rawa."
5. I. Putu G. Widjaja Adhi. 1986. "Pengelolaan Lahan Rawa pasang Surut"



dan Lebak," *Lembaga Penelitian Tanah*.

6. IRRI. 1984. "Workshop on Research Priorities in Tidal Swamp Rice."
7. LAPI, ITB. 1985. "Laporan Akhir pekerjaan identifikasi Potensi Wilayah Rawa Pasang Surut Meliputi 6 Propinsi seluas 650.000 ha."
8. Saragih, Suryanto, Ir. 1988. "Prospek Penelitian Pertanian Lahan Pasang Riau untuk Pengembangan perkebunan Kelapa."
9. Stephen Berwick dan Bedjo Suwardhi. 1987. "Pedoman Penerapan Proses Analisis Mengenai Dampak Lingkungan untuk Pengembangan Sumberdaya di Indonesia," Winrock Int. bekerja sama dengan PT. INDECO Duta Utama.
10. Utomo, Anton N. 1988. "Pemanfaatan Lahan Pasang Surut di Riau untuk Pengembangan Perkebunan Kelapa."
11. Wirawan. 1986. "Pengkajian Pemanfaatan Tata Pengairan/Lahan pasang Surut dan Kemampuan Petani dalam Rangka Eksploitasi dan Pemeliharaan."
12. World Bank. 1988. "Appraisal Report Irrigation Sub Sector Loan Project."
13. Zaenal Anwar Zen. 1982. "Kecenderungan Pengembangan Ekosistem Pasang Surut di Sumatera Selatan, Pusat Studi Lingkungan." Universitas Sriwijaya."

**Lampir 1. 1. : Biaya Total Pengembangan Irigasi**

Tahun	Area (Ha)	Biaya pada harga berlaku		Biaya pada harga konstan	
		Total (Rp Juta)	Per Ha (Rp.)	Total (Rp juta)	Per Ha (Rp)
PELITA I	1.612.896	114.429	70.946	171.885	106.569
1969/1970	347.801	20.706	59.534	39.068	112.329
1970/1971	283.334	19.668	69.416	33.336	117.656
1971/1972	254.104	21.326	83.926	32.312	127.161
1972/1973	335.715	24.829	73.959	33.553	99.945
1973/1974	391.942	27.900	71.184	33.616	85.768
PELITA II	1.646.709	617.064	374.726	582.328	353.631
1974/1975	217.072	118.279	544.884	51.914	239.156
1975/1976	368.155	98.252	266.877	98.252	266.877
1976/1977	321.452	114.906	357.459	111.559	347.047
1977/1978	310.902	150.740	484.847	140.878	453.127
1978/1979	429.128	204.887	477.450	179.725	418.814
PELITA III	1.863.814	1.908.228	1.023.830	913.129	489.925
1979/1980	428.884	226.989	529.255	180.399	420.624
1980/1981	479.327	349.812	729.798	189.087	394.484
1981/1982	462.146	428.696	927.620	201.265	435.501
1982/1983	371.299	475.612	1.280.941	199.000	535.956
1983/1984	122.158	387.119	3.169.002	143.378	1.173.709
PELITA IV*	1.420.000	639.171	4.457.163	1.468.549	1.034.189
1984/1985	325.914	771.017	2.365.707	261.362	801.935
1985/1986	339.240	1.094.468	3.226.235	311.814	919.155
1986/1987	390.208	1.314.778	3.369.429	315.736	809.148
1987/1988	412.946	1.484.665	3.595.301	299.731	725.836
1988/1989	451.692	1.654.243	3.662.325	279.906	619.683

Sumber: Dirjen Pengairan, 1985

\*) Target

Lampiran 1.2. Biaya pengembangan lahan rawa

Tahun	Area (Ha)	Biaya pada harga konstan			
		Total (Rp juta)	Per Ha (Rp juta)	Total (Rp juta)	Per Ha (Rp juta)
PELITA I	178.666	33.078	185.139	49.975	279.712
1969/1970	21.059	5.826	276.651	10.993	522.010
1970/1971	25.000	6.336	253.440	10.739	429.560
1971/1972	14.905	6.475	434.418	9.811	658.235
1972/1973	61.562	7.041	114.373	9.515	154.560
1973/1974	56.140	7.400	131.813	8.917	158.835
PELITA II	179.202	52.825	291.766	50.067	279.389
1974/1975	8.154	4.352	533.726	4.680	573.981
1975/1976	34.368	15.736	457.868	15.736	457.868
1976/1977	26.190	8.512	325.010	8.264	315.450
1977/1978	27.246	10.638	390.443	9.942	364.898
1978/1979	83.244	13.047	156.732	11.445	137.487
PELITA III	454.505	109.708	241.379	54.567	120.058
1979/1980	71.226	20.404	286.468	13.787	193.567
1980/1981	117.321	25.008	213.159	13.518	115.222
1981/1982	108.690	21.373	196.642	10.034	92.318
1982/1983	124.024	27.713	223.449	11.595	93.490
1983/1984	33.244	15.210	457.526	5.633	169.444
PELITA IV*	460.000	266.581	579.524	61.713	134.159
1984/1985	63.541	31.611	497.490	10.716	168.647
1985/1986	76.459	45.423	594.083	12.941	169.254
1986/1987	83.000	54.933	661.843	13.142	158.337
1987/1988	108.100	66.792	617.872	13.439	124.320
1988/1989	128.900	67.822	526.160	11.475	89.022

Sumber: Dirjen Pengairan, 1985

\* Target

Lampiran 1.3. Daftar lokasi pembangunan rawa pasang surut di Sumatera dan Kalimantan

Nama Propinsi/ Lokasi	Tahun Pem- angunan	Luas (Ha)	Telah dialokasi kepada trans- migrasi (Ha)	KK
<b>1. RIAU</b>				
1. Unit Teluk Kambang	1971-1976	3.000	1,5	694
2. Unit Tempuling	1976-1977	2.680	9,0	416
3. Unit Delta Rete	1975-1977	12.620	2,0	904
4. Unit Kuala Cinaku	1977-1978	4.878	2,4	1.080
5. Unit Sekip	1978-1979	3.000		200
6. Unit Siah Besar	1976-1978	16.785	2,4	1.992
7. Unit Siah Kecil	1977-1978	9.843	2,1	2.738
8. Unit Rokan	1978-1981	28.910	2,2	1.799
9. Unit Kabu	1980-1983	10.888		
<b>JUMLAH</b>		<b>92.604</b>	<b>13,8</b>	<b>9.823</b>
<b>2. JAMBI</b>				
1. Unit Dendang I	1977-1978	5.115	1,6	1.300
2. Unit Dendang II	1978-1979	5.000	1,0	808
3. Unit Dendang III	1980-1981	2.900	3,0	300
4. Unit Rantau Rasan	1969-1975	6.802	6,2	2.764
5. Unit Simpang Puding	1975-1976	2.300	1,7	758
6. Unit Lambur	1975-1976	6.440	3,4	1.525
7. Unit Pamusiran	1977-1978	4.140	1,2	544
8. Unit Simpang Pandan	1979-1981	7.851	1,9	1.580
9. Unit Logan Hulu	1981-1985	6.550	9,0	756
10. Unit Kumpek	1982-1983	10.700	6,0	500
<b>JUMLAH</b>		<b>57.798</b>	<b>19,1</b>	<b>10.835</b>
<b>3. SUMATERA SELATAN</b>				
1. Unit Upang	1969-1976	8.423	4,2	2.138
2. Unit Ginta Manis	1969-1976	4.316	3,4	
3. Unit Telang I	1975-1978	26.680	10,6	4.742
4. Unit Telang II	1976-1978	13.806	8,4	3.722
5. Unit Air Saleh	1977-1979	19.090	11,1	4.936
6. Unit Air Sugihan-Kiri	1978-1982	45.310	28,2	13.013
7. Unit Air Sugihan-Kanan	1979-1982	29.450	18,5	8.707

*Memfaatkan Air Limbah*

8. Unit Pulau Ramau	1980-1982	39.142	15,7	8.725
9. Unit Karang Agung-Hilir	1981-1982	20.317	2,0	929
10. Unit Karang Agung-Hulu	1981-1982	9.000	9,0	415

JUMLAH 215.534 103,6 47.327

4. KALIMANTAN SELATAN

1. Unit Barambai	1969-1970	4.200	4,2	1.013
2. Unit Belawang	1975-1977	5.400	3,0	1.195
3. Unit sei Muhur	1976-1979	5.115	2,0	209
4. Unit Seluang	1979-1981	3.529	3,5	580
5. Unit Jelapat	1974-1975	3.238	3,2	940
6. Unit Tabung Anen II	1977-1979	5.237	1,1	556
7. Unit Sakalagun I	1975-1978	4.901	4,9	565
8. Unit Puntik Benah-Besar	1980-1982	2.900	1,2	650
9. Unit puntik Terentang	1980-1982	3.100		650

JUMLAH 37.623 18,8 6.358

5. KALIMANTAN TENGAH

1. Unit Terusan Tengah	1979-1981	4.651	7,0	639
2. Unit Kantan (Pangkoh III)	1980-1982	4.800	1,8	1.518
3. Unit Tahai (Pangkoh IV)	1980-1981	3.733	1,5	1.266
4. Unit Maliku Kiri (Pangkoh V)	1981-1982	2.000	1,9	1.534
5. Unit Talio (Pangkoh I)	1979-1981	5.026	1,3	1.110
6. Unit Tamban Luar	1969-1970	3.705	1,8	1.405
7. Unit Tamban Lupak	1976-1977	1.354	4,0	357
8. Unit Tatas	1975-1976	4.000	1,0	842
9. Unit Salagun	1981-1982	6.043	7,0	565
10. Unit Pangkoh (Pangkoh II)	1980-1982	4.934	1,9	1.570

JUMLAH 40.246 13,5 10.806

6. KALIMANTAN BARAT

1. Unit Rasau I	1970-1971	2.927	1,8	1.095
2. Unit Rasau II	1974-1975	2.783	1,4	657
3. Unit Rasau III	1975-1976	1.400	4,0	211
4. Unit Pinang Luar	1976-1977	2.224	1,3	614
5. Unit Arus Deras	1976-1977	760	4,0	233
6. Unit Air Putih	1976-1977	2.291	1,0	472
7. Unit Sei Bulau	1978-1979	800	4,0	323
8. Unit Pinang Dalam	1976-1977	1.771	3,0	260

*Prospek Pengembangan Lahan Pasang Surut*

9. Unit Jangkang	1977-1978	3.156	3,0	300
10. Unit Olak-Olak Kubu	1978-1979	2.360	1,0	800
11. Unit Sei Radah	1978-1979	3.582	5,0	400
12. Unit Kubu	1978-1979	1.750	3,0	264
13. Unit Teluk Batang	1982-1983	5.840	1,3	1.080

JUMLAH 31.644 11,0 6.709

Total 475.446 180,0 91.858

Sumber: Direktorat Rawa: Direktorat Jenderal Pengairan, 1985

## Bab II

# MENUJU PERKEMBANGAN IRIGASI TANGGUH DI INDONESIA\*

*Effendi Pasandaran*

### Pendahuluan

Walaupun Indonesia telah mencapai tahap swasembada beras dan berusaha berswasembada dalam produksi pangan lainnya, namun tantangan yang dihadapi untuk memelihara swasembada tersebut semakin besar, mengingat terbatasnya sumberdaya lahan irigasi yang tersedia.

Pembangunan irigasi baru, terutama yang berskala besar, memerlukan waktu yang lama dengan biaya pembangunan per satuan luas yang semakin meningkat. Terbatasnya lahan irigasi yang tersedia tidak saja terjadi di Indonesia tetapi bersifat global. Luas areal irigasi di dunia dewasa ini telah mencapai 210 juta hektar, atau 14,5% dari luas areal yang digarap. Di Indonesia, luas areal irigasi telah mencapai 4,5 juta hektar atau 22% dari areal yang digarap untuk tanaman pangan.

Luas areal secara global mengalami kenaikan sebesar 5% antara tahun 1965-1975 dan pertumbuhannya menurun antara tahun 1975-1985 menjadi 1,5% per tahun (IIMI, 1988). Khususnya di Indonesia, perluasan irigasi berkembang pesat pada permulaan abad ke-20 sampai dengan sebelum kemerdekaan. Pada dua dasawarsa terakhir, pertumbuhan areal irigasi diperkirakan di bawah 1% per tahun.

Daerah irigasi yang telah ada, produktivitasnya masih dianggap rendah yaitu di bawah 0,4 kg/m<sup>3</sup> air. Di daerah tropis, produktivitas per unit air apabila dikelola secara baik dapat mencapai 1 kg sereal/m<sup>3</sup> air.

\* Diambil dari Effendi Pasandaran, "Menuju Perkembangan Irigasi Tangguh di Indonesia."

### Perkembangan Irigasi Tangguh

Ada beberapa hal yang menyebabkan rendahnya produktivitas, yaitu kemampuan pengelolaan irigasi yang rendah yang antara lain disebabkan oleh sulitnya peramalan tentang tersedianya air dan ketidaktepatan waktu pemberian air. Pola distribusi hujan yang berubah-ubah juga mendukung situasi tersebut.

Dengan demikian, usaha meningkatkan kemampuan sistem irigasi yang ada perlu dilakukan secara lebih terarah dan dengan memperhatikan tingkat keragaan sistem irigasi yang bersangkutan.

### Sistem Irigasi Tangguh

Perkembangan irigasi di Indonesia berada dalam suatu kisaran yang lebar dan telah demikian rumitnya, sehingga untuk membantu meningkatkan kemampuannya diperlukan pendalaman terhadap tingkah laku masing-masing sistem irigasi. Dalam jangka panjang, suatu sistem pertanian tangguh perlu didukung oleh sistem irigasi tangguh.

Suatu sistem irigasi tangguh mempunyai ciri-ciri keandalan, ketahanan, kemantapan dan keluwesan dalam menangani berbagai gejala yang terjadi, baik dari dalam maupun dari luar sistem irigasi yang bersangkutan.

Gejolak-gejolak yang terjadi dapat mempengaruhi tingkat keragaan irigasi dalam hubungan dengan ambang keragaan yang ditetapkan secara internal dalam suatu sistem irigasi. Ambang keragaan ialah suatu indikator yang digunakan untuk mengukur tujuan suatu sistem irigasi dalam menjalankan fungsinya.

Indikator yang digunakan dapat berupa tingkat suplai air, kemampuan distribusi, status kelembaban lahan yang diairi, target hasil, dan lain-lain.

Ciri-ciri tersebut di atas dalam hubungannya dengan ambang keragaan dapat diuraikan sebagai berikut:

Keandalan adalah suatu konsep yang mengukur frekuensi kemampuan suatu sistem irigasi menjaga tolok ukur atau ambang keragaan yang digunakan untuk mencapai tujuan yang ditetapkan. Suatu sistem irigasi yang suplai dan distribusi airnya secara terus-menerus berada di atas ambang keragaan, mempunyai keandalan yang tinggi. Apabila suplai dan distribusi airnya berada di bawah ambang keragaan dalam frekuensi yang tinggi, maka sistem tersebut mempunyai tingkat keandalan rendah. Suatu sistem irigasi dengan keandalan tinggi dapat saja terjadi karena penetapan ambang keragaan yang konservatif yang mendasarkan kriteria rancangan irigasi untuk wilayah yang lebih terbatas dengan memperhatikan besarnya suplai air



yang dapat diandalkan (*dependable flow*) untuk wilayah yang bersangkutan. Keuntungan sosial yang diperoleh dengan demikian terjadi pada wilayah-wilayah yang relatif terbatas.

Dengan semakin meningkatnya nilai air, keperluan menggunakan air untuk wilayah yang lebih luas juga akan semakin meningkat, dan hal ini akan meningkatkan pula batas ambang keragaan suatu sistem irigasi. Keandalan sistem irigasi apabila tidak disertakan oleh upaya pengelolaan yang baik, akan menurunkan tingkat keandalan tersebut.

Ketahanan suatu sistem irigasi berkaitan dengan kecepatan mengatasi masalah yang dihadapi. Suatu sistem irigasi mempunyai ketahanan yang tinggi apabila dapat secara cepat mengatasi guncangan yang berasal dari dalam ataupun dari luar sistem itu sendiri. Misalnya, apabila suplai air jatuh di bawah ambang keragaan, sistem tersebut secara cepat dapat memulihkan dirinya sehingga suplai air naik di atas ambang keragaan. Demikian pula apabila terjadi kerusakan pada suatu komponen sistem, maka secara darurat akan ada tindakan yang cepat untuk mengatasi masalah yang dihadapi, sehingga sistem yang bersangkutan dapat segera berfungsi. Pada sistem irigasi dengan ketahanan rendah, suatu guncangan yang sama akan mempunyai dampak negatif yang besar. Misalnya, menurunnya suplai air dalam periode tertentu, karena kemampuan pemulihan yang relatif lama akan memberi dampak berupa penurunan produksi.

Suatu sistem irigasi dianggap mantap apabila mempunyai keandalan yang tinggi dalam jangka panjang. Kemantapan dapat terjadi karena sistem irigasi dirancang secara konservatif atau apabila sistem irigasi yang bersangkutan juga mempunyai ketahanan yang tinggi karena ditunjang oleh sumber-sumber alternatif. Misalnya penggunaan air tanah untuk menambah suplai irigasi pada waktu terjadi kekurangan air, atau adanya keterkaitan satu sistem dengan sistem lainnya sehingga memungkinkan adanya pelengkap. Ketahanan suatu sistem irigasi diperoleh melalui suatu proses yang memungkinkan terjadinya pengaturan-pengaturan sesuai dengan tuntutan dan umpan balik lingkungan.

Sistem irigasi yang dirancang secara sederhana dapat saja dalam proses pengembangannya mencapai ketahanan yang tinggi. Ketahanan yang tinggi ditunjukkan misalnya oleh sistem subak di Bali dalam menata kembali sistem irigasi yang telah dibangun atau direhabilitasi berdasarkan teknik-teknik yang berasal dari luar subak. Teknik pembagian air yang diperkenalkan ialah bangunan bagi yang menggunakan pintu sorong atau pintu romijn, lengkap dengan skala ukurannya. Teknik ini memerlukan operator yang mengatur pembagian dan jumlah air yang masuk. Teknik ini

juga menyebabkan hanya operator yang mengetahui besarnya pembagian air. Sistem subak sendiri mendasarkan pembagian air secara proporsional tanpa menggunakan pintu air dan cukup menggunakan ambang untuk menentukan pembagian air menurut proporsi areal yang diairi. Dengan cara ini setiap subak dan anggota subak mengetahui proporsi air yang menjadi bagiannya.

Untuk mengetahui masalah yang dihadapi dalam pembagian air dengan teknik pintu air, subak membuat ambang di depan pintu bagi dan membiarkan pintu air terbuka terus. Cara ini, walaupun dari segi perhitungan teknis dianggap kurang tepat, namun dari segi pertanggungjawaban sosial dapat diterima oleh masyarakat.

Suatu sistem irigasi yang tangguh, di samping mempunyai ketahanan yang tinggi juga luwes dan tanggap terhadap perkembangan yang terjadi, baik yang menyangkut perkembangan teknologi maupun rangsangan-rangsangan ekonomi, seperti perubahan harga komoditi, sarana produksi dan lain-lain. Ketangguhan suatu sistem irigasi, baik irigasi tradisional maupun teknis, tercapai melalui suatu proses perkembangan yang terdiri dari 3 tahap, yaitu:

1. Dalam tahap dini sistem irigasi masih dalam proses mempelajari reaksi lingkungan terhadap suplai air, baik yang berasal dari hujan maupun yang berasal dari irigasi. Karena informasi tentang keadaan wilayah dan lingkungan belum memadai, maka rancangan dan kriteria yang dipakai umumnya konservatif dengan efisiensi operasional yang relatif rendah. Baik sistem irigasi yang dibangun secara sederhana oleh masyarakat setempat maupun yang dibangun dengan konstruksi yang lebih kokoh memerlukan penyesuaian kembali berdasarkan umpan balik lingkungan. Kecepatan penyesuaian tergantung dari daya tanggap terhadap umpan balik lingkungan dan perubahan-perubahan tujuan sistem irigasi itu sendiri.
2. Tahap maju. Daya tanggap lingkungan terhadap suplai irigasi dan tuntutan untuk memperbaiki produktivitas irigasi memberikan dorongan untuk memperbaiki keragaan sistem irigasi. Sejalan dengan permintaan akan air irigasi yang semakin meningkat, yang disebabkan oleh tuntutan kebutuhan pangan dan meningkatnya nilai air, maka ada usaha untuk menata kembali sistem irigasi yang ada. Proses penataan dapat dilakukan melalui perubahan struktur dan jaringan irigasi dan dapat pula melalui peningkatan kemampuan pengelolaan. Dengan demikian, kekurangan-kekurangan yang disebabkan oleh ketidakmampuan struktur

### Memfaatkan Air Limbah

dan jaringan irigasi diimbangi oleh kemampuan pengelolaan dan pengendalian sumberdaya manusia untuk menanggulangi masalah-masalah yang dihadapi. Dalam tahap maju, efisiensi operasional dan keuntungan sosial yang diperoleh relatif tinggi. Peningkatan efisiensi disebabkan oleh perbaikan informasi dan meluasnya areal yang dapat dilayani oleh irigasi yang bersangkutan.

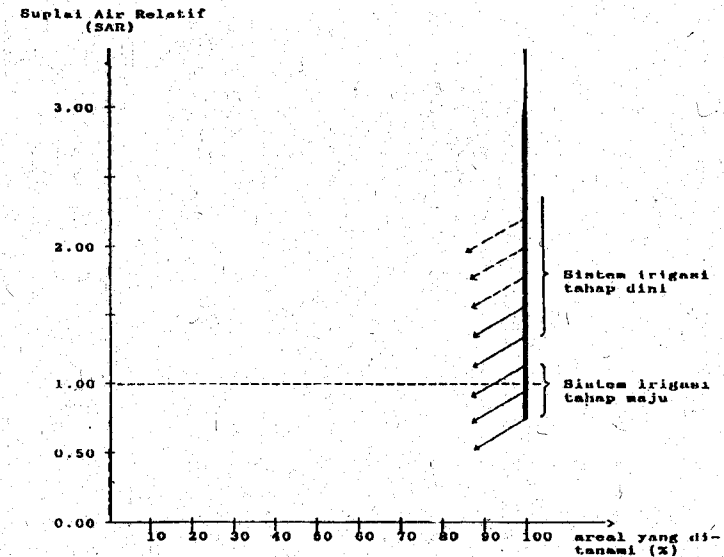
3. Tahap tangguh. Dalam tahap yang merupakan klimaks perkembangan, sistem irigasi telah teruji dalam hal ketahanan, keandalan dan keluwesan dalam menghadapi tantangan perubahan yang terjadi. Sistem irigasi tangguh antara lain mempunyai ciri daya tanggap yang tinggi terhadap perubahan suplai dibandingkan dengan irigasi pada tahap maju dan tahap dini. Gambar 1.1. dan 1.2. memberikan ilustrasi daya tanggap sistem irigasi dalam areal dan jenis tanaman terhadap perubahan suplai air musiman pada ketiga tahap tersebut.

Suplai air musiman dinyatakan sebagai Suplai Air Relatif (SAR), yaitu perbandingan antara suplai air total, baik irigasi maupun hujan, terhadap total kebutuhan air padi dengan asumsi bahwa seluruh areal irigasi yang ada dalam sistem irigasi ditanami padi.

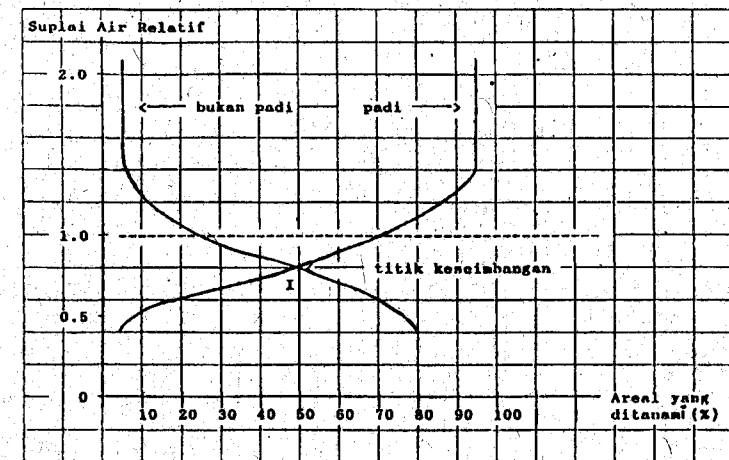
Pada Gambar 2.1. terlihat bahwa pada sistem irigasi tahap sangat dini pada SAR yang jauh lebih besar dari satu sistem irigasi tersebut, sudah tidak dapat ditanami padi secara menyeluruh. Pada sistem irigasi tersebut proses pembentukan sawah, yaitu penyesuaian dari lingkungan kering menjadi lingkungan basah, memerlukan jumlah air yang lebih besar. Secara berangsur jumlah tersebut akan berkurang dengan semakin mantapnya proses pengolahan dan perataan tanah dan teknologi produksi seperti penggunaan varietas padi berumur pendek yang juga menghemat penggunaan air. Penghematan yang terjadi memungkinkan terjadinya perluasan areal tanam, dan dengan demikian memberikan kesempatan berproduksi secara lebih luas dan meningkatkan produktivitas per unit air yang disediakan. Dengan meningkatnya nilai air, akan ada tekanan sosial untuk memanfaatkan air secara lebih efisien, atau dengan kata lain SAR akan menurun sampai mendekati satu atau kurang dari satu. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.; walaupun sistem irigasi telah mencapai tahap maju dengan efisiensi tinggi, namun hanya ada satu jenis tanaman yaitu padi, baik di musim hujan maupun di musim kemarau.

Pada sistem irigasi tangguh, reaksi yang terjadi ialah penambahan areal nonpadi dengan semakin menurunnya SAR (Gambar 2.2.). Pada SAR yang lebih kecil dari satu, masih seluruh areal irigasi yang ada dapat ditanami

### Perkembangan Irigasi Tangguh



Gambar 2.1. Hubungan antara SAR per musim dengan luas areal yang ditanami padi pada sistem irigasi tahap dini dan maju



Gambar 2.2. Hubungan antara SAR per musim dengan areal tanam pada sistem irigasi tangguh

sedangkan pada sistem tahap dini sebagian areal irigasi sudah tidak dapat ditanami. Di bawah titik ambang batas keragaan sebagian dari areal irigasi sudah tidak dapat ditanami.

### **Kesenjangan Antartahap**

Suatu sistem irigasi walaupun sudah cukup lama dipergunakan, tidak selalu berhasil mencapai tahap perkembangan yang lebih tinggi. Dalam perkembangan suatu sistem irigasi terdapat tiga proses yang terjadi, yaitu proses belajar dalam arti mempelajari dan memanfaatkan umpan balik yang diperoleh dari lingkungan, proses pemantapan kemampuan irigasi baik fisik maupun pengelolaan, dan proses penurunan kemampuan irigasi (Levine, 1986). Proses penurunan kemampuan terjadi karena kemunduran kemampuan fisik dari berbagai komponen yang ada. Suatu sistem irigasi akan mengulangi siklus, yang sama secara terus-menerus apabila tidak dapat mengatasi kesenjangan yang terjadi untuk menuju tahap perkembangan yang lebih tinggi, walaupun telah dilakukan rehabilitasi dan perbaikan fisik komponen-komponennya.

Ada tiga kesenjangan utama yang terjadi yaitu kesenjangan rancangan sistem, informasi teknik dan kesenjangan teknologi produksi. Kesenjangan rancangan sistem terjadi karena rancangan yang dibuat tidak memungkinkan sistem irigasi yang bersangkutan meningkatkan kemampuannya. Sistem irigasi yang bersangkutan untuk meningkatkan efisiensinya akan memerlukan biaya rekonstruksi yang besar, sehingga tambahan keuntungan yang diperoleh tidak dapat mengimbangi tambahan biaya yang diperlukan. Ada sistem irigasi yang sudah sampai pada tahap maju, tetapi sulit mengadakan penataan kembali untuk sampai pada tahap tangguh. Hal tersebut dapat terjadi karena jaringan irigasi tingkat usahatani yang ada menjadi sangat intensif dan permanen sehingga kurang tanggap terhadap perubahan-perubahan yang terjadi.

Kesenjangan informasi teknik disebabkan oleh kurangnya kemampuan teknik dalam mengelola sistem irigasi, baik dalam hal alokasi maupun distribusi air irigasi. Pembangunan perangkat lunak untuk menunjang sistem informasi yang diperlukan kurang memadai, dan aturan kelembagaan yang ada tidak dapat mengimbangi kurangnya informasi yang tersedia. Pada hakekatnya, pengelolaan air dalam suatu sistem irigasi dilakukan berdasarkan atas dua prinsip operasional. Prinsip yang pertama didasarkan pada kontrol terhadap air yang masuk (*Inflow Control*) Untuk ini diperlukan pintu pengatur (*Cross Regulator*) yang dilengkapi dengan alat ukur untuk

menentukan jumlah air yang masuk ke bagian-bagian sistem irigasi. Jumlah air yang diperlukan berdasarkan pada proses produksi yang terjadi yaitu pola dan fase pertumbuhan tanaman. Keberhasilan prinsip operasional ini sangat ditentukan oleh ketepatan informasi yang diberikan pada pengelola sistem irigasi. Menurut laporan IIMI (1987) terdapat kesenjangan informasi antara data yang dilaporkan dengan kenyataan di lapangan. Pada beberapa kasus yang diteliti, terutama pada musim kemarau, terdapat kecenderungan untuk melebihkan keperluan, sehingga rasio antara debit aktual dan debit yang direncanakan jauh lebih besar dari satu.

Prinsip operasional yang kedua didasarkan pada kontrol terhadap keluaran air yang terjadi pada bagian-bagian dari sistem irigasi (*Outflow Control*). Hal ini banyak dilakukan pada sistem irigasi pedesaan yang dikelola oleh masyarakat tani sendiri yang umumnya tidak dilengkapi dengan bangunan pengatur air dan alat ukur. Pada sistem seperti ini individu petani pemakai dan pengelola air menjadi peka terhadap perbedaan pembagian air dan berperanan dalam mengawasi distribusi air. Informasi debit yang diperlukan melalui pengukuran dengan cara ini digantikan oleh pengawasan yang intensif terhadap pembagian air di lapangan.

Kesenjangan teknologi produksi muncul karena lingkungan irigasi yang ada belum memadai untuk penetapan teknologi produksi secara optimal dan untuk memungkinkan dilaksanakannya diversifikasi tanaman. Tantangan yang dihadapi ialah bagaimana menciptakan lingkungan produksi yang cocok untuk berbagai tanaman dengan metode pemberian air yang berbeda.

Pada sistem irigasi yang dirancang untuk mengairi padi, air irigasi umumnya diberikan secara terus-menerus untuk memelihara genangan yang ada pada petak-petak sawah. Tanaman nonpadi seperti palawija, tebu, dan lain-lain, tidak memerlukan genangan secara terus-menerus, dan khususnya palawija peka terhadap drainase yang buruk. Oleh karena itu tanaman palawija yang biasanya ditanam di musim kemarau bersama-sama dengan padi dalam suatu petak tersier, memerlukan pengaturan tata letak, baik dalam blok maupun dalam suatu petak sawah. Demikian pula tingkat ketersediaan air yang ada menentukan aturan-aturan yang diperlukan dan peranan yang perlu dijalankan oleh petani pemakai air dan pengelola air yang ada di desa. Pada sistem irigasi tangguh, penanaman palawija juga dimaksudkan untuk mengurangi keperluan air secara menyeluruh dibandingkan dengan keperluan untuk padi dan memungkinkan pembagian air yang lebih merata dalam jangka waktu yang sesuai dengan pergiliran tanaman yang ditetapkan (Pasandaran, 1984).

### **Arah Perkembangan**

Sistem-sistem irigasi yang baru dibangun, baik oleh pemerintah maupun oleh masyarakat, umumnya masih dalam tahap dini. Pembangunan baru dilakukan melalui perluasan sistem irigasi ataupun pada sawah-sawah tadah hujan setempat. Seperti yang telah disinggung sebelumnya, perkembangan perluasan areal semakin terbatas walaupun masih terdapat sejumlah sistem yang telah diperluas tetapi belum dimanfaatkan sepenuhnya.

Tidak diketahui dengan pasti berapa luasnya seluruh sistem irigasi yang masih berada pada tahap dini, namun diperkirakan bahwa tidak kurang dari 30% dari seluruh areal irigasi yang ada. Sistem irigasi maju yang tersebar di Jawa, Bali dan beberapa daerah di luar Jawa, diperkirakan telah mencapai 60% dari jumlah areal irigasi, sedangkan sistem irigasi yang dapat dikategorikan sebagai irigasi tangguh meliputi sekitar 10% dari jumlah areal irigasi.

Tantangan yang dihadapi ialah bagaimana caranya meningkatkan kemampuan irigasi baik pada tahap dini maupun tahap maju untuk dapat mencapai tahap irigasi tangguh. Tulisan ini telah mengemukakan kesenjangan yang terjadi dan kendala bagi sistem irigasi untuk meningkatkan kemampuannya. Kesenjangan-kesenjangan tersebut perlu dinilai sesuai dengan situasi setempat, dengan memperhatikan ciri-ciri sistem irigasi seperti keandalan, ketahanan, dan keluwesan dalam menghadapi perubahan-perubahan yang terjadi baik dari dalam maupun dari luar sistem.

Dalam menilai ciri-ciri sistem irigasi perlu pula diperhatikan kondisi fisik dan kondisi pengelolaan, pada tiap tahap perkembangan.

Kondisi fisik dan kondisi pengelolaan secara bersama-sama menentukan proses pengelolaan yang menghasilkan keputusan-keputusan tentang alokasi dan distribusi air.

Pada sistem irigasi yang dikelola oleh masyarakat, keseluruhan proses menjadi tanggung jawab perkumpulan petani pemakai air, sedangkan pada sistem nasional menjadi tanggung jawab pemerintah dan masyarakat tani. Pada sistem irigasi nasional diperlukan usaha untuk memperkuat keterkaitan antara proses pengelolaan yang terjadi pada jaringan utama dengan proses pengelolaan pada jaringan tersier yang dilakukan oleh perkumpulan petani pemakai air dan proses produksi pada tingkat usahatani. Dalam jangka pendek diperlukan usaha untuk membenahi sistem irigasi tahap dini untuk dapat ditingkatkan kemampuannya menjadi sistem irigasi tahap maju, sedangkan dalam jangka panjang diperlukan usaha meningkatkan daya tanggap sistem irigasi maju, yaitu secara terus-menerus

mengadakan artikulasi kondisi fisik dan pengelolaan irigasi dengan teknologi produksi.

### **Daftar Pustaka**

1. Carruthers Ian. 1988. "Irrigation under Treat. A Warning Brief for Enthusiasts." *IIMI-Review*, vol. 2 No, 1, April.
2. IIMI. 1988. "The Strategy of the International Irrigation Management Institute," Revisi ketiga, Februari.
3. IIMI 1987. "Study of Irrigation Management-Indonesia (TA 673 INO)," IIMI, Oktober.
4. Levine, G. 1986. "The Challenge of Rehabilitation and Betterment." Makalah disajikan pada the Water Management Synthesis II, Conference on Rehabilitation and Betterment, 27-31 Oktober, Washington D.C.
5. Pasandaran, E. 1984. "Productivity and Equity of Water Allocation in Indonesian Irrigation Systems," suatu laporan riset untuk IFPRI.
6. Pasandaran, E. 1988. "Strategi Pengembangan Sumberdaya Lahan dan Air, Menunjang Swasembada Pangan," *Prisma*, LP3ES, Februari.
7. Pasandaran, E. 1982. "Water Allocation and Land Utilization Indonesian Irrigation Systems," *Indonesian Agricultural Research and Development Journal*, vol. 4, No. 4.



### Bab III

## TEKNOLOGI PEMANFAATAN KEMBALI AIR LIMBAH UNTUK BIDANG PERTANIAN\*

Uwe Neis

Alam merupakan suatu sistem daur yang tertutup. Zat dan energi tidak bisa dihancurkan. Bahan-bahan yang tak diinginkan dan tak dapat dihancurkan tidak bisa begitu saja dibuang dalam suatu sistem yang tertutup. Bahan-bahan itu hanya bisa dibuang di tempat lain. Oleh karena itu sering terjadi bahwa suatu jalan pemecahan pembuangan limbah untuk seseorang dapat menimbulkan masalah pencemaran untuk yang lain.

Dengan demikian, dengan mudah kita dapat melihat bahwa sumberdaya dalam sistem tertutup itu terbatas. Oleh karena itu harus disadari bahwa limbah itu juga merupakan sumberdaya yang harus diubah -- tidak saja untuk mencapai suatu standar tertentu untuk kemudian dibuang, tetapi juga agar dapat menghasilkan produk yang bermanfaat serta sesuai dengan sistem tertutup itu.

Di Mesir, keterbatasan dari sumberdaya yang paling berharga, yaitu air, jelas sekali. Di sana, hanya dalam jarak beberapa meter saja, kita bisa-bisa berpindah dari tanah yang subur dan produktif ke gurun yang gersang dan kering -- "tanah maut", demikian raja-raja Firaun di zaman kuno menamakannya. Jadi, pusat perhatian harus dialihkan dari pembuangan sampah ke sistem pengolahan yang dapat mengubah unsur-unsur limbah menjadi benda produktif. Pengolahan limbah harus ditinjau tidak hanya dari biaya-unit terendah saja, tapi juga dari sumber daya yang dapat

\*Diterjemahkan dari Uwe Neis, "Treatment Teknologi for Agricultural Reuse for wastewater."

### Teknologi Pemanfaatan Air Limbah

diperoleh, kegunaannya dalam produksi dan manfaatnya dalam menghindarkan pencemaran.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan alam tadi, maka dalam kerangka umum ini, pengolahan limbah patutlah mendapat tempat yang penting. Metode ini terutama cocok untuk daerah kering, karena dapat membantu atau mempercepat terjadinya asimilasi tanah kering dengan biosistemnya.

Dalam merancang dan mengoperasikan sarana pengolahan air limbah, aspek-aspek berikut harus dipertimbangkan:

- jenis limbah yang akan dimanfaatkan kembali,
- dampaknya pada tanah dan sistem tanaman,
- dampaknya pada ruang lingkup ekologi lain, misalnya udara dan air tanah,
- dampaknya pada manusia yang bekerja di lingkungan pemrosesan pemanfaatan kembali atau konsumen dari produk pertanian yang tumbuh di lingkungan tersebut.

### Saran-saran untuk Pemanfaatan Kembali Limbah Bagi Tujuan Pertanian

Pembersihan limbah di tanah dapat diklasifikasikan sebagai teknologi maju untuk air limbah. Yang terlibat di sini ialah proses-proses mekanis, biologi dan kimia. Pembersihan limbah di tanah merupakan metode tertua dalam pembersihan sampah. Menurut suatu studi, seperti dikemukakan dalam (1), ada 45 usahatani sampah yang terbentuk selama berabad-abad mulai dari zaman pertengahan Eropa sampai tahun 1950. Sekarang pun masih banyak pertanian semacam ini yang berjalan baik; beberapa ditemukan di Eropa dan lebih banyak lagi di Amerika, Australia dan Asia. Perhatian yang semakin meningkat menunjukkan bahwa pengolahan limbah di tanah sudah semakin dipahami dan malah dikembangkan sebagai salah satu teknik yang paling inovatif dalam teknik pembersihan air limbah. Teknik ini nampaknya cocok untuk keadaan yang sering dijumpai di negara-negara berkembang, yaitu teknologi biaya-rendah serta tanah yang masih tersedia.

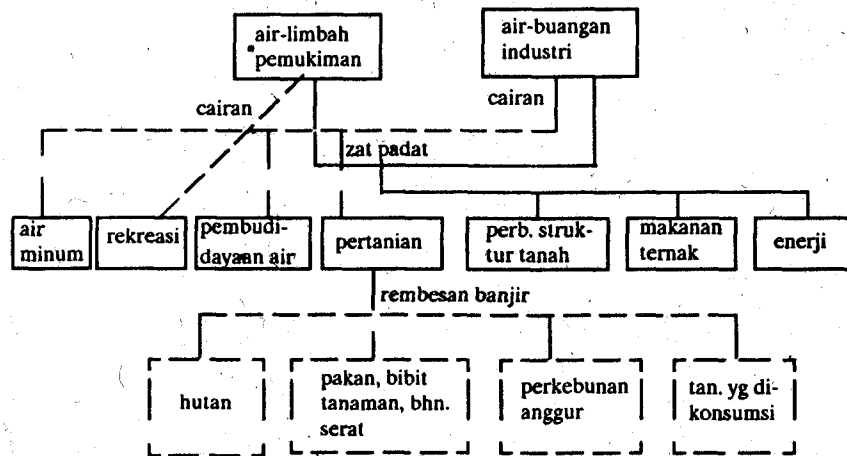
Gambar 3.1. menunjukkan suatu survei yang dilakukan untuk mencari kemungkinan-kemungkinan pemanfaatan kembali air buangan. Yang paling ditekankan di sini ialah pemanfaatan kembali untuk bidang pertanian, termasuk pemakaian cairan serta bahan padat dari "hasil pengolahan". Banyak sekali buku-buku tentang semua program pemanfaatan

kembali ini, maka disarankan agar yang pertama dibaca dengan teliti ialah bagian pendahuluan (1, 2, 3).

Manfaat air limbah untuk pertanian ialah sebagai sumber:

- zat hara anorganik (N, P, Ca),
- unsur-unsur terkecil (K, Na, dan sebagainya),
- bahan organik,
- air irigasi

Mengingat sangat banyaknya kegunaan tanah pertanian dalam penanaman, keadaan iklim serta jenis tanah yang berbeda-beda, maka mustahil untuk menentukan suatu pedoman menilai potensi sumberdaya yang ada dari air limbah.



Gambar 3.1. Skema pemanfaatan air limbah

Hasil akhir dari proses pemanfaatan kembali merupakan hasil hubungan-hubungan antara:

- unsur kimia dan tekstur tanah,
- keadaan iklim,
- jenis tanaman yang digarap,
- frekuensi pengairan,
- drainase

Sayang air limbah tidak dapat dialirkan ke tanah tanpa pembersihan sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh larutan partikel unsur pokok yang mungkin berbahaya bagi tanah, tanaman, hewan dan juga manusia. Sekali lagi, jelas tidak dapat dikembangkan kriteria umum tentang perancangan pengolahan air limbah yang dapat memuaskan setiap proyek pemanfaatan kembali.

Rekomendasi dasar sudah pernah diterbitkan, antara lain oleh WHO pada tahun 1973 (lihat Tabel 3.1.).

Tabel 3.1. Saran untuk proses pemanfaatan kembali air limbah yang memenuhi kriteria kesehatan (WHO)

	Irigasi	Rekreasi	Pemanfaatan kembali di pemukiman			
	bukan tanaman untuk konsumsi manusia langsung	tanaman yang di makan matang; perikanan	tanam makan mentah	tidak ada kontak	pemanfaatan kembali industri	tidak dapat diminum
Pengolahan primer	---	---	---	---	---	---
Pengolahan sekunder	---	---	---	---	---	---
Filtrasi pasir atau metode poles lain	---	---	---	---	---	---
Nitrifikasi	---	---	---	---	---	---
De-nitrifikasi	---	---	---	---	---	---
Klarifikasi kimia	---	---	---	---	---	---
Adsorpsi karbon Pertukaran ion atau metode pemindahan ion lain	---	---	---	---	---	---
Disinfeksi	---	---	---	---	---	---

--- sangat perlu    -- perlu    - kadangkala diperlukan

Banyak negara yang tidak mempunyai patokan untuk kuantitas aliran limbah dalam teknik pengolahan tanah. Namun harus ditekankan bahwa hal ini tidak boleh dianggap sebagai kelemahan, karena pedoman seperti ini dapat saja menyesatkan, karena tidak akan mampu memperhitungkan keadaan-keadaan yang menyangkut tanah, iklim, tanaman dan air tanah.

Dengan demikian, rekomendasi WHO di atas harus dianggap sebagai

**Tabel 3. 2.** Parameter penting untuk menilai kelayakan air limbah (lumpurnya untuk pengolahan tanah)

Kelompok	Parameter	Ciri khas
Bahan anorganik	TSD (daya konduksi)	tanaman yang toleran terhadap garam, salinitas tanah
	SAR (rasio absorpsi sodium tanah $\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^{2+}$ )	struktur tanah, pori-pori tanah
	RSC (residu sodium karbonat)	Endapan $\text{CaCO}_3$ pengaktifan $\text{Na}^+$
	$\text{HCO}_3, \text{CO}_3^{2-}$	Kenaikan SAR
Hara organik	Cl	toleransi tanaman
	N ( $\text{NH}_4 - \text{N}, \text{NO}_3 - \text{N}$ )	Penerimaan tanaman, air tanah
Unsur hara trace	P	pertumbuhan ganggang
	Boron	Racun bagi tanaman akumulasi tanah membahayakan kesehatan melalui tanaman
	Arsenik	
	Timah	
	Kadmium	
Zat organik	Cr, tembaga, seng	
	Bahan kering (lumpur)	Conditioning tanah
	Haloform	khlorisasi air buangan
Jasad-renik	Senyawa khlorida sintetis (pestisida)	cancerogenik
	Bakteri, virus, helminth	Racun bagi lingkungan
		Membayakan kesehatan

stimulus untuk terus menggalakkan metode pengolahan tanah. Setiap rancangan pengolahan tanah harus merupakan hasil diskusi interdisipliner antara para insinyur teknik sipil dan kesehatan, serta pakar agronomi dan biologi.

Berikut ini daftar parameter yang relevan untuk menilai kelayakan air limbah untuk tujuan pertanian. Jelas parameter yang diteliti di sini jauh lebih tinggi daripada kriteria aliran limbah secara umum.

Kelompok bahan berikut ini perlu diperhatikan:

- zat padat yang larut total,
- metal berat,
- zat organik yang terlalu kuat,
- jasad renik (patogen)

Pada sebelah kanan Tabel 3.2. dapat dilihat mengapa zat-zat tersebut harus diteliti secara menyeluruh. Berikut ini beberapa kelompok dibahas secara singkat.

Zat padat yang larut dalam air irigasi merupakan penyebab terjadinya salinitas pada tanah. Terutama pada tanah kering dan iklim di mana tingkat penguapan tinggi sepanjang tahun, meningkatnya salinitas mungkin tidak dapat ditolerir lagi oleh tanah. Struktur tanah akan merosot oleh adanya deflokulasi, dan toleransi pohon dan tanaman terhadap salinitas sudah melampaui batas. Dengan dipasangnya sistem drainase, maka jumlah air irigasi perlu ditambah. Metal berat akan terkumpul pada fase padat dan mungkin mengendap menjadi hidroksida sepanjang proses pemupukan. Jadi kita dapat mengantisipasi adanya peningkatan konsentrasi metal berat dalam lumpur air limbah. Beberapa negara Eropa sudah mempunyai patokan metal berat untuk lumpur buangan yang akan digunakan untuk pertanian. Contohnya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Patokan nilai ini dibuat untuk wilayah padat industri di Eropa tengah. Di negara-negara berkembang, konsentrasi metal berat ini tampaknya belum mencapai titik nilai yang membahayakan. Akan tetapi perlu diperhatikan kenyataan bahwa sejalan dengan pembangunan perkotaan, maka industrialisasi yang meningkat akan otomatis menimbulkan pencemaran akibat buangan metal berat. Sebagai contoh, misalnya Helwan di Mesir. Di sana limbah industri telah mencapai 70% dari seluruh air limbah. Setelah dikumpulkan dan mengalami proses pengolahan biologis, baru air yang dibersihkan ini dapat dipertimbangkan kegunaannya bagi pertanian. Di Kairo, menurut data hasil survei, ditemukan konsentrasi tinggi dari tembaga, chromium dan timah pada limbah dari proses pembersihan buangan di Kossous dan El-Zenein (4). Karena di Kairo tidak ada industri berat,

**Tabel 3.3** Batas konsentrasi metal berat dalam lumpur buangan untuk dimanfaatkan kembali pada pertanian, mg/kg bahan kering

Elemen	Jerman Barat		Swiss	
	Lumpur		Tanah	Lumpur
Seng	3.000	(2.000)	300	3.000
Cr	1.200	(600)	120	1.000
Timah	1.200	(600)	100	1.000
Tembaga	1.200	(800)	100	1.000
Nikel	200	(100)	50	200
Kadmium	30	(10)	3	30
Air Raksa	25	(10)	2	10
tingkat penerapan max. t DM/ha .a	2,5			5

( ) Batas waktu delapan tahun setelah diresmikannya Undang-Undang Federal, tahun 1981

meningkatnya konsentrasi metal berat ini barangkali disebabkan oleh adanya sekian banyak pedagang dan pabrik kecil-kecil.

Kelompok parameter lain yang perlu mendapat perhatian ialah zat organik yang mantap, yaitu bahan organik yang dianggap hampir non-biodegradasi (produk alam seperti bahan berhumus, hidrokarbon alifatik dan aromatik, senyawa khlorida sintetis, pestisida, PCB, bahan-bahan yang dihasilkan dari air atau air limbah yang mengalami khlorisasi).

Sampai sekarang pun pembahasan mengenai senyawa non-biodegradasi sintetis yang sangat rumit dan dapat membahayakan kesehatan itu hanya mengandalkan dasar pengetahuan yang masih sedikit sekali. Tentu saja bahan-bahan ini tidak dapat dihilangkan melalui proses biologi yang konvensional; sekarang metode pembersihan yang lebih maju seperti filtrasi yang mengaktifkan karbon, masih dalam penelitian. Akan tetapi memang telah diketahui, bahkan metode-metode canggih seperti ini pun tetap saja tidak akan mampu menghilangkan ratusan spesies organik dalam waktu yang sama. Sejauh ini, TOC tetap merupakan pedoman parameter pertama yang digunakan untuk menilai kualitas setiap air limbah. Untuk yang akan datang, sedang diusulkan patokan baru TOC 1,0 atau 0,1 mg/l untuk pemakaian kembali air limbah secara langsung (2). Infor-

masi lain mengenai zat persenyawaan organik tertentu mutlak perlu. Dalam makalah ini, mikro polutan organik tidak akan dibahas; oleh karena kami yakin masih banyak kelompok zat berbahaya lain yang lebih penting bagi negara berkembang. Lagipula teknik analitis untuk menganalisis senyawa tersebut memerlukan peralatan dan sarana pemeliharaan yang canggih dan mahal.

Polutan terpenting dalam rangka pemanfaatan limbah kembali ialah jasad-renik (patogen). Kita tidak dapat membuat suatu kesimpulan umum pada tingkat mana organisme-organisme ini harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum dapat digunakan dalam bidang pertanian. Mungkin kesehatan para petani dan penduduk yang tinggal berdekatan dengan lokasi irigasi, ataupun kesehatan para konsumen produk tanaman tersebut mungkin bisa terancam. Kepustakaan (5) memberikan katalog mengenai aspek umum pertimbangan dalam metode pengolahan tanah dengan pemanfaatan air limbah. Belum ada kepastian jenis jasad-renik mana yang dapat dijadikan indikator utama untuk polusi. Berdasarkan saran Bradley (6) Tabel 3.4. menunjukkan klasifikasi penyakit menular yang berkaitan dengan penyediaan air dan sanitasi. Feachem (7) mengkorelasikan penyakit-penyakit ini dengan unsur patogen, yang bisa merupakan sega jenis jasad-renik: bakteri, virus, protozoa, helminth, spirochaetes, jamur atau rakhitis.

Daftar ini menunjukkan bahwa tak satu pun dari proyek pengolahan tanah untuk pemanfaatan air limbah kembali, terutama di negara berkembang yang beriklim panas, merupakan pekerjaan teknologi atau agronomi semata-mata, tapi interdisipliner yang melibatkan juga pakar teknik kesehatan dan sosiologi. Mereka bersama-sama harus mencegah diterapkannya teknik yang tidak tepat dan menyadarkan masyarakat akan bahaya yang mungkin timbul serta menunjukkan cara-cara pencegahannya.

Kita mengetahui bahwa zat limbah sekunder yang berasal dari limbah pengolahan tanah konvensional selalu menyebabkan melimpahnya virus dan bakteri. Hal ini pernah dialami di Jerman (8) serta Mesir; lihat Gohary (9). Karena itu kita harus memperhatikan teknologi pengolahan yang maju dalam penyingkiran limbah. Tetapi kita tidak boleh meniru teknologi tradisional dari Eropa begitu saja. Misalnya, kita dapat memanfaatkan keadaan iklim di daerah beriklim panas. Sinar matahari dapat menghancurkan semua jasad-renik, jadi jika tersedia cukup waktu antara pemberian irigasi dengan musim panen, bahwa penyakit dapat dikurangi. Lumpur buangan yang diberikan pada lapangan pengeringan dapat dianggap sebagai bebas hama. Proses pembasmian hama ini lagi-lagi tergand-



**Tabel 3. 4. Klasifikasi penyakit menular sehubungan dengan penyediaan air (menurut Bradley)**

Kategori	Contoh	perbaikan supli air yang relevan
I. Penularan dalam air		
(a) klasik	demam tifus, kolera	sterilitas mikrobiologi
(b) non-klasik	hepatitis menular	perbaikan mikrobiologi
II. Penularan terbawa air		
(a) Kulit dan mata	skabies, trachoma	jumlah air lebih banyak
(b) penyakit perut	disentri baksiler	jumlah air lebih banyak
III. Penularan kuman yang hidup di air		
(a) masuk kulit	schistosomiasis	perlindungan pada pemakai
(b) lewat makanan	cacing Guinea	perlindungan pada sumber
IV. Penularan melalui vektor serangga yang berhubungan dengan air		
(a) menggigit dekat air	penyakit tidur	air disalurkan dengan pipa dari sumber
(b) berbiak dalam air	demam kuning	air disalurkan dengan pipa sampai lokasi pemakai
Penyakit menular yang terutama disebabkan oleh buruknya sanitasi	cacing gelang	pembuangan tinja

tung pada lamanya penyinaran.

Berbagai strategi harus dikembangkan untuk mencari teknologi pengolahan yang layak dan memuaskan sebelum air limbah dapat dimanfaatkan kembali pada pertanian. Bagian berikut ini membahas beberapa proses pengolahan yang dapat menghilangkan senyawa-senyawa tertentu dengan baik dan teknologi yang tepat untuk digunakan dalam kondisi negara berkembang di wilayah kering.

*Pemilihan metode*

Bagian ini secara selektif membahas proses-proses pembersihan biologis dan fisiko-kimia sehubungan dengan keefisienan *pemisahan* atau *produksi*:

1. *Pemisahan* di sini ialah mengurangi zat yang tak diinginkan, seperti garam atau patogen,
2. *Produksi* di sini ialah menghasilkan atau menyimpan zat yang diperlukan, seperti biomassa atau zat hara.

Aspek kedua jelas menunjukkan "pemikiran baru" dalam hal renovasi sumber-sumber dalam sistem alam tertutup.

Selain itu, perlu diingat bahwa kita memerlukan sistem pengumpulan sampah sebelum dapat memanfaatkan kembali air limbah untuk irigasi atau tujuan pertanian lain. Inilah salah satu cara sanitasi yang hanya dapat diwujudkan di daerah perkotaan yang padat penduduknya. Di daerah pedesaan dan pinggiran, pengumpulan sampah biasanya masih kurang teratur, setidaknya di negara berkembang. Oleh karena itu dalam pembahasan ini harus dikemukakan metode-metode pengolahan yang tidak tergantung pada sistem kebersihan sentral. Unit-unit pembersihan yang didesentralisasi seperti ini harus dapat bekerja untuk minimum 50 atau 100 penduduk. Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi teknik-teknik pengolahan ini adalah sebagai berikut:

*Pemisahan*

- garam yang larut total ✓
- bahan-bahan yang biodegradasi dan non-biodegradasi
- metal berat ✓
- jasad-renik -

*Produksi*

- unsur hara anorganik
- hasil limbah (biomassa)

*Metode biologi*

Metode-metode pengolahan secara biologis meliputi sistem dengan teknik canggih dan sistem yang mudah pengoperasiannya:

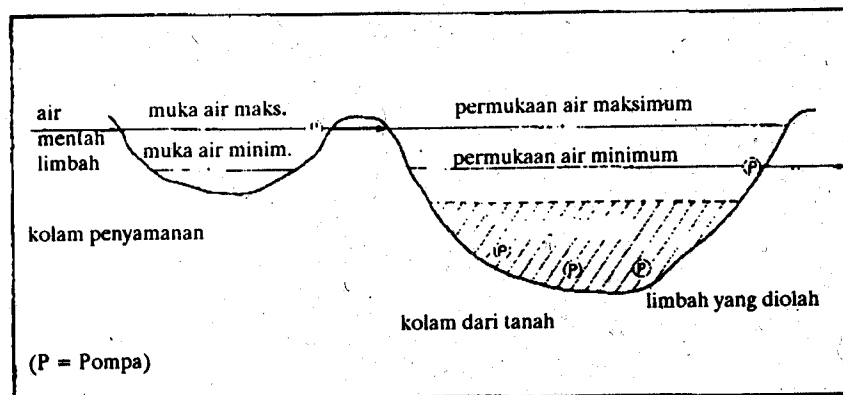
1. Pengaktifan lumpur limbah
  - kandungan tinggi

- kandungan rendah

2. Reaktor biologi dalam rangkaian kelompok SBR (Sequencing batch biological reactors)
3. Kolam-kolam oksidasi
4. Filter penetasan (biofilter)
5. Kontak biologi yang berotasi (RBC, Rotating biological contactor)

Sistem 1, 3, 4 dan 5 beserta prinsip dasarnya sudah sangat dikenal. Sistem-sistem tersebut hanya dapat dibuat dan diterapkan kalau ada jaringan pengumpulan sampah sentral. Sedangkan metode nomor 2 (SBR) dipilih karena tidak memerlukan sistem jaringan sampah. Namun metode SBR ini baru saja dua tahun yang lalu diterapkan kembali oleh Irvine dan rekan-rekan (10). Jadi saat ini pengalaman pengoperasian metode ini masih terbatas. Tetapi dapat dipastikan bahwa pengolahan semacam ini dapat membantu menggalakkan program sanitasi di masyarakat pedesaan. Dalam satu putaran ada lima periode operasional yang berlainan dari sarana pengolahan SBR ini, yaitu isi - reaksi - mengendap - ambil - istirahat.

Mula-mula tangki diisi (tetapi sudah mengandung populasi organisme aktif yang cukup banyak). Sesudah diisi sampai mencapai kapasitas menampung-air maksimum, periode reaksi dimulai dengan menambahkan suplai udara atau campuran mekanis. Berbagai macam degradasi biologi dapat dilakukan dengan cara memperpanjang waktu pengisian udara.



Gambar 3.2. Skema untuk operasional periodik SBR

Nitrifikasi dan denitrifikasi pun, jika diinginkan, dapat dikendalikan. Reaksi oksida kemudian diikuti oleh periode pengendapan, pengambilan dan istirahat. Periode-periode ini membutuhkan sedikit penjelasan. Pembahasan yang lebih terinci dapat dibaca lebih lanjut dalam pustaka nomor (11) dan (12). Gambar 3.2. menunjukkan gambar skema secara kasar tentang penerapan sistem ini dengan mudah tanpa mengeluarkan biaya investasi yang tinggi. Kolam dari tanah yang sederhana dapat dipakai untuk membuat reaktor SBR ini. Namun beberapa peralatan teknis perlu ditambahkan juga, seperti sarana pemasukan dan pengeluaran, pompa, dan peralatan pengisian udara dan pencampuran.

#### Efisiensi pengolahan biologis

Pada dasarnya tujuan pengolahan biologis ini ialah untuk memisahkan sebanyak mungkin bahan organik yang larut. Nitrifikasi mungkin perlu ditambahkan. Jika proses mineralisasi bahan organik melalui metabolisme berbagai jenis organisme telah tercapai seluruhnya, misalnya dengan sistem pengaktifan lumpur, maka hasilnya ialah perubahan dari larutan bahan organik menjadi larutan bahan (hara) anorganik. Pada sistem pengaktifan lumpur limbah berkonten tinggi, metabolisme komponen organik nitrogen (protein) tidak terjadi, sehingga produksi unsur hara hanya sedikit. Jadi, yang pertama-tama menjadi perhatian kita dalam menilai pengolahan secara biologis ialah menentukan kadar degradasi biologi dari substrat organik yang dapat larut. Berdasarkan gambaran simbol proses metabolisme di bawah ini, dapat dihitung banyaknya zat hara anorganik yang dihasilkan dari proses transformasi ini.

#### Unsur bahan organik

C  
H  
N  
S  
P

+ O jasad-renik

#### hasil bahan (hara) anorganik

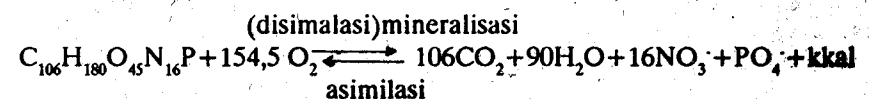
CO<sub>2</sub>  
H<sub>2</sub>O

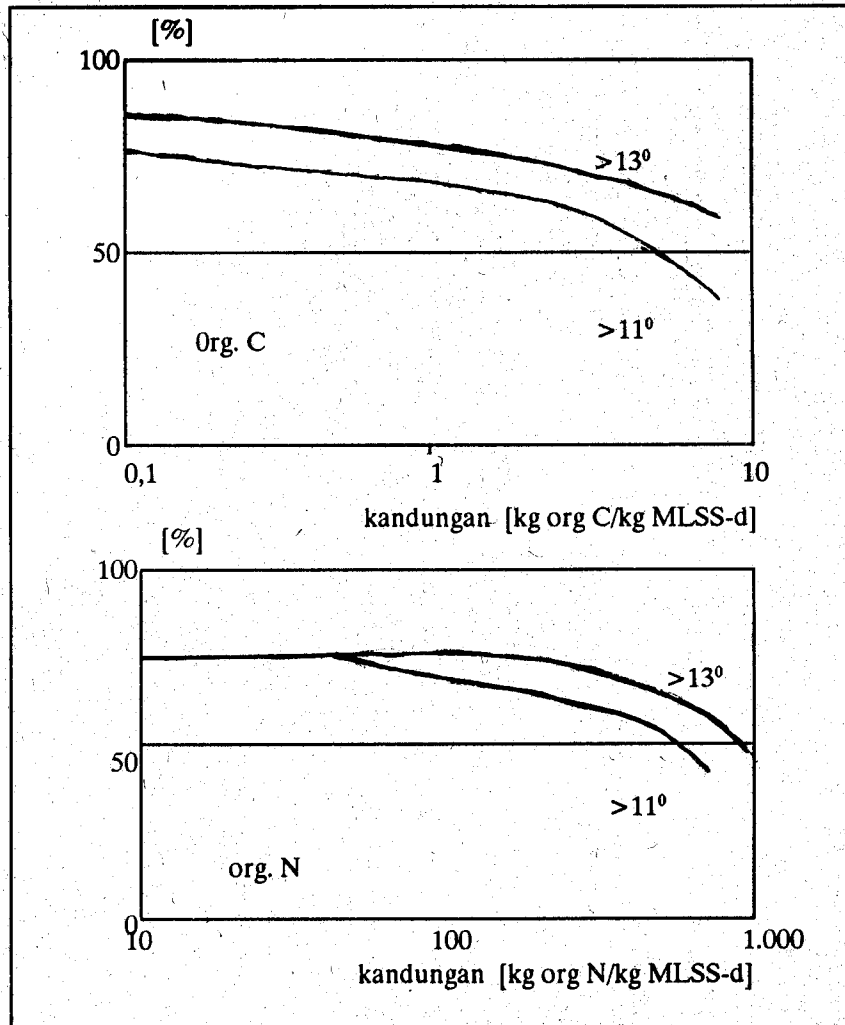
NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> (mineralisasi)

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

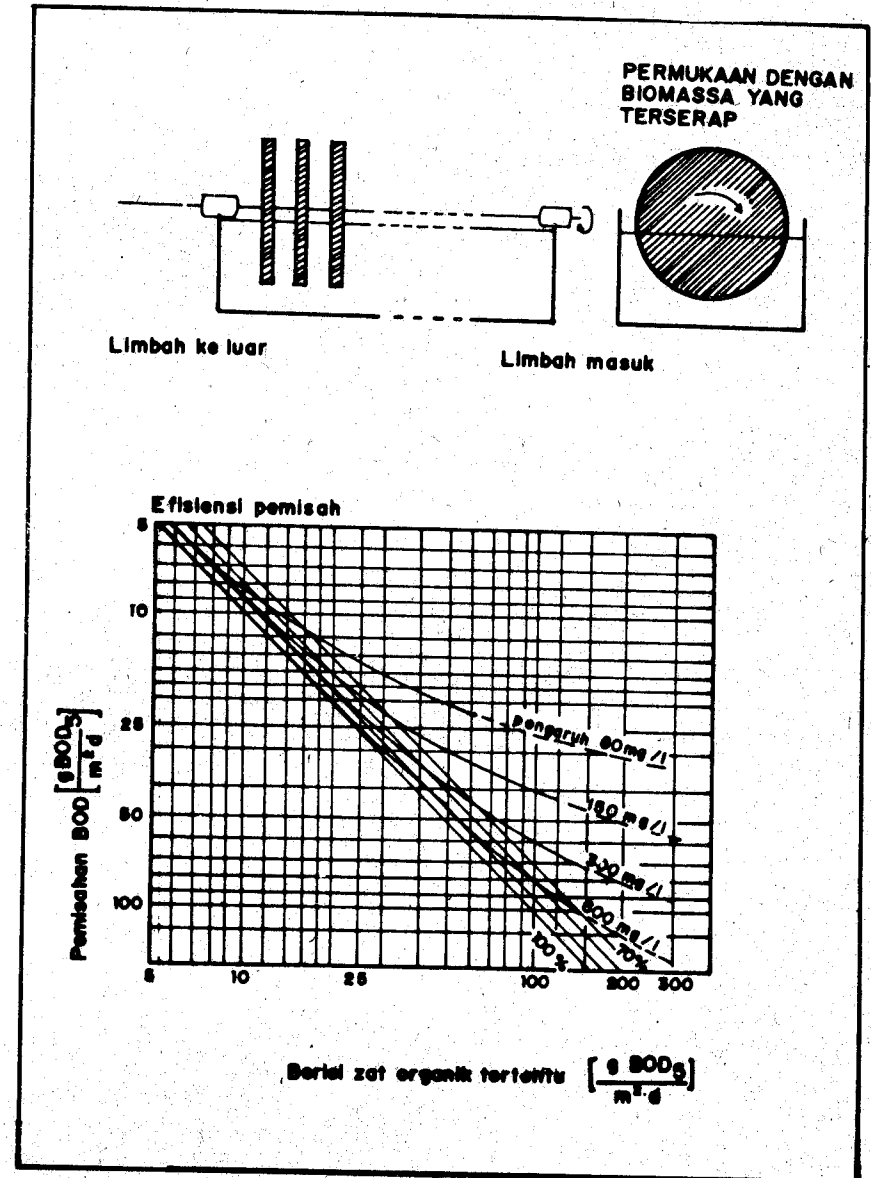
+ tenaga/energi PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

Telah dikenal persamaan sederhana untuk menguraikan reaksi ini:

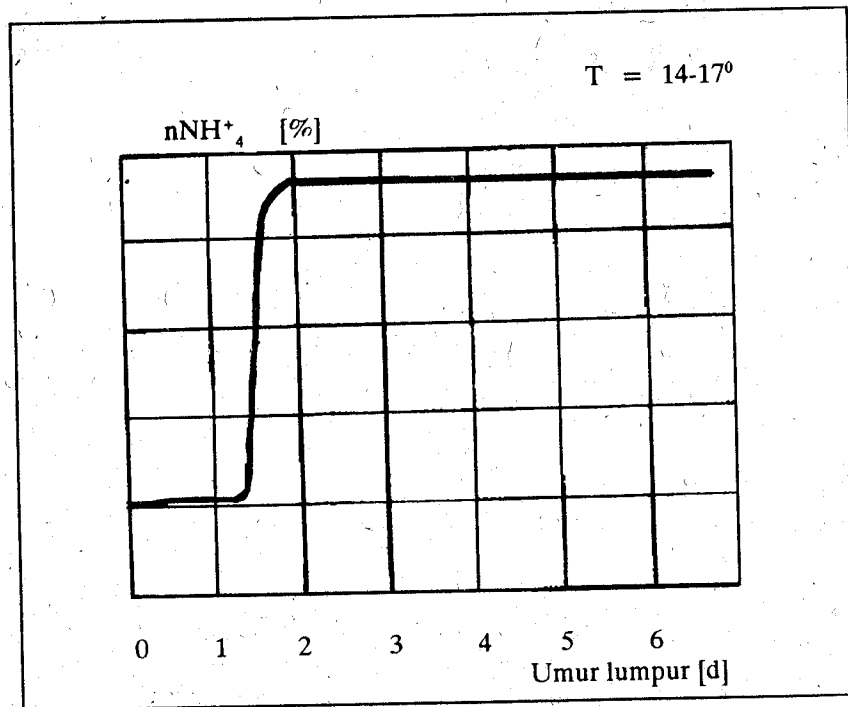




Gambar 3.3 Kandungan organik dan efisiensi penghilangan pada pengolahan biologis lumpur limbah yang diaktifkan: karbon organik, nitrogen organik (menurut Horler)



Gambar 3.4. Kontak biologi yang berotasi (RBC), efisiensi pemisahan sebagai fungsi pada kandungan permukaan organik tertentu



Gambar 3.5. Nitrifikasi pada reaktor lumpur limbah yang diaktifkan: pengaruh umur lumpur limbah ( menurut Wuhrmann)

Sejauh mana reaksi ini bergerak ke kanan tergantung dari fungsi konsentrasi substrat, massa mikro-organisme yang aktif dalam sistem dan oksigen yang diberikan. Untuk penerapan yang lebih praktis, dapat dikatakan bahwa degradasi (pelapukan) bahan organik tergantung dari kandungan organik yang ada dalam sistem tersebut. Contoh dari ketergantungan ini dapat dilihat pada Gambar 3.3. dan 3.4. yang menggambarkan lumpur limbah yang diaktifkan dan sistem kontak biologi yang berotasi (RBC).

Di sini menjadi jelas bahwa jumlah bahan organik yang mengalami degradasi berkurang, jika kandungan organik sistemnya ditambah. Dengan demikian penghilangan BOD menjadi relatif rendah. Sebaliknya, kandungan organik yang rendah pada sistem biologis (atau dengan kata lain, waktu detensi lebih panjang dan umur limbah lebih lama) menye-

babkan konsentrasi limbah BOD yang rendah dan dekomposisi nitrogen organik menjadi nitrat (lihat Gambar 3.5.).

Karena kita ingin mendapatkan unsur hara yang terkandung dalam air limbah, maka metode pengolahan lebih maju yang bertujuan memisahkan hara (denitrifikasi, pengendapan fosfat) tidak boleh diterapkan. Semakin tinggi lapisan dasar, konsentrasi per unit massa mikro organisme, semakin mudah kita mendapatkan peningkatan produksi massa sel, seperti terlihat dalam Gambar 3.6.

Hal tersebut di atas dapat dipertimbangkan juga dalam hal produksi biomassa yang berguna untuk memperbaiki tanah. Namun sebelum digunakan pada tanah limbah biologis ini perlu dikeringkan dahulu. Cara yang tepat ialah dengan bedengan pengering.

Uraian umum seperti ini tidak dapat dijelaskan secara terinci. Untuk melakukan perhitungan yang lebih kuantitatif, pembaca dipersilakan membaca pustaka-pustaka yang sudah dikenal.

#### Garam larut total (TDS)

Barangkali selain kolam oksida, konsentrasi TDS tidak begitu terpengaruh selama dilakukan pengolahan biologis konvensional. Sebaliknya kita dapat mempertimbangkan pemakaian proses mineralisasi sebagai masukan TDS ke sistem ini. Ion TDS lainnya, seperti  $\text{Cl}^-$  tetap tidak berubah. Pada kolam oksidasi, di mana daya asimilasi ganggang dapat menimbulkan peningkatan pH yang cukup tinggi, proses pelunakan melalui presipitasi kalsium karbonat atau apatit dapat terjadi.

Kita harus ingat bahwa daya konduksi air limbah pemukiman biasanya jauh lebih tinggi daripada daya konduksi air permukaan:

Sampah pemukiman di Kairo	- $1.000 \mu\text{Scm}^{-1}$
Air Sungai Nil	- $150 \mu\text{Scm}^{-1}$

Untuk ini perlu dilakukan reduksi TDS jika tanaman yang peka garam harus diberi irigasi. Dalam keadaan ini, satu-satunya jalan pemecahan ialah menambah cairan. Teknologi canggih yang maju, seperti osmosis balik, sebaiknya tidak digunakan di negara berkembang.

#### Metal berat

Seperti yang terlihat dalam Tabel 3.5., pemisahan metal berat terjadi

selama proses pembersihan secara biologis, melalui penggabungan ke dalam sel atau bisa jadi melalui adsorpsi fisika-kimia pada permukaan bioflok. Dapat ditemukan efisiensi pemisahan antara 30% dan 70%, tergantung metalnya. Konsentrasi limbah biasanya jauh di bawah tingkat yang diinginkan. Namun timbul pertanyaan mengenai dampak jangka panjang dari sistem pembuangan lumpur limbah dalam pertanian. Suatu penelitian yang sekarang ini diadakan di Kairo oleh Universitas Karlshure dengan Pusat Penelitian Nasional setempat ditujukan terutama pada pengumpulan metal berat dalam sampah lumpur limbah, karena bisa saja ditemukan tembaga, chrom dan timah dalam konsentrasi tinggi.

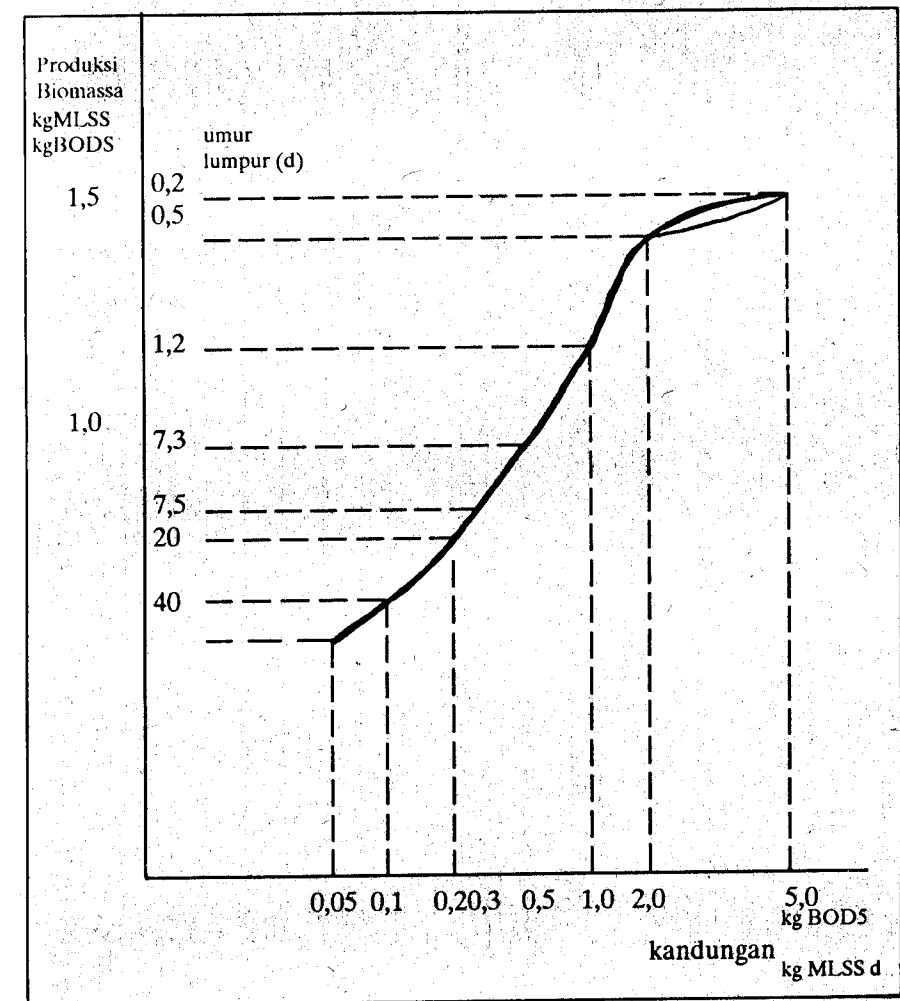
Sebagai perbandingan, data mengenai pemisahan metal berat pada proses-proses klarifikasi-flokulasi fisika-kimia diberikan pada Tabel 3.5. Tidak diberikan jenis flokulan tertentu yang digunakan pada proses ini. Kecuali pada air raksa, kecepatan pemisahan sekitar 70% ke atas.

Contoh kalkulasi untuk memperhitungkan dampak jangka panjang pada tanah yang diberi irigasi telah dikemukakan (14). Namun tidak selalu mudah untuk menentukan kecepatan reaksi. Kita harus memperhitungkan kecepatan alir air limbah, konsentrasi metal dalam air limbah, presipitasi dan evapotranspirasi. Kestimbangan daya larut kimia harus mampu menghitung jumlah metal yang mengendap di permukaan tanah. Kecepatan daya serap metal pada berbagai tanaman juga harus ikut diperhitungkan.

**Tabel 3.5.** Pemisahan metal pada pengolahan biologis dan klarifikasi-flokulasi (dikumpulkan dari berbagai sumber pustaka)

Metal	Efisiensi Pemisah			
	Nilai Rata-rata	Nilai Rata-rata	Patokan deviasi	Jumlah observasi
	x (%)	x (%)	s (%)	n (-)
Cr	70	74,5	36,4	19
Zn	60	79,1	29,7	13
Cu	55	79,9	29,5	15
Cd	35	74,1	28,8	11
Pb	65	78,3	26,7	14
Ni	45	72,3	31,6	6
Hg		54,7	52,4	4
Ag		75,3	38,6	6

Aliran melalui lajur tanah sampai ke muka air-tanah mengakibatkan pemisahan metal adsorptif. Hasil dari studi-studi kasus mengenai penyerapan metal berat pada berbagai tanaman dapat dilihat pada Tabel 3.6. (15). Juga telah diterbitkan studi-studi serupa mengenai metal dengan tanaman lain.



**Gambar 3. 6.** Produksi - biomasa dan umur lumpur limbah sebagai fungsi pada kandungan BOD tertentu ( menurut Hartman)



Tabel 3.6. Air raksa yang terdapat dalam tanah dan tanaman setelah diberi HgCl<sub>2</sub> dari Kloke (15)

Pemberian Hg, mg/kg tanah	0	50	100
Hg ditemukan dalam tanah 1977, mg/kg	0,18	51	117
Hg ditemukan dalam tanah 1980, mg/kg	0,15	47	190
Hg dalam jaringan tanaman, mg/kg DM			
Buncis 1976, daun	0,11	2,1	20,0
Gandum hitam 1978, jerami**	0,05	1,13	3,45
Gandum 1978, jerami	0,05	1,13	4,60
Berley/gerst 1979, jerami	0,07	0,66	3,33

\* Patokan untuk tanah : 2 mg/kg

\*\* Patokan untuk jagung : 0,35 mg/kg DM

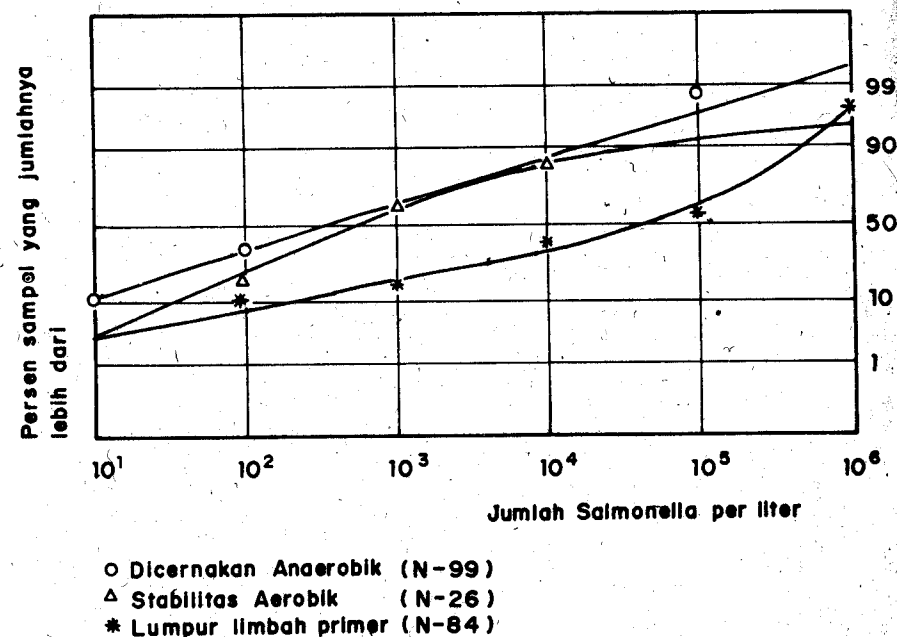
#### Jasad-renik

Suatu alat/tempat pengolahan primer yang dapat bekerja dengan baik diharapkan dapat memisahkan sekitar 50% patogen dari air limbah, hanya harus diingat bahwa lumpur limbah akan mengandung konsentrasi yang jauh lebih tinggi daripada air limbah yang telah diolah. Data yang dilaporkan mengenai lumpur limbah yang diaktifkan dan filter penetasan sangat berbeda-beda, namun, katakanlah, 85-99% bakteri, dapat dipisahkan. Limbah yang telah berkali-kali dibersihkanpun masih tetap mengandung cukup banyak jasad-renik. Pada kolam oksidasi, efisiensi pemisahan akan lebih baik dengan jalan menggabungkan dampak-dampak dari degradasi biologi, sedimentasi dan sinar ultraviolet. Contoh jumlah organisme yang ditemukan di dalam air limbah dikemukakan dalam kepustakaan (16). Jangan lupa bahwa pengurangan 97% spesies apapun harus sesuai dengan penurunan angka mulai dari, misalnya,  $10^6$  sampai  $10^4$ . Dari segi pandangan ahli kesehatan, jumlah limbah harus dibandingkan dengan kemungkinan penularan lewat manusia dan dosis penularannya. Sebuah perkiraan mengenai patogen-patogen air limbah dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Akumulasi patogen dalam lumpur limbah, diperlihatkan oleh hasil dari studi yang dilakukan di Eropa (17) pada Gambar 3.7. Dari gambar tersebut

Tabel 3.7. Perkiraan konsentrasi pantogen air limbah dan dosis penularan diambil dari Asano (21) di tambah data dari Jerman

Pantogen	Jumlah Organisme			Dosis Penularan	
	Limbah tidak diolah (tanpa perlakuan)	limbah primer	limbah sekunder	Jumlah organisme	uptake oral kritis
Salmonela	$5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$	$10^9$ - $10^{10}$	$10$ - $10^2$
Mycobakteri	$5 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^0$	1-9 (anak)	0,5
Enterovirus	$110^4$	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	<1
Telur Helminth	$6 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^0$	$1,2 \cdot 10^{-1}$		$10^5$ - $10^8$



Gambar 3.7. Distribusi patogen (salmonela) dalam pelbagai lumpur limbah. Data Swis (17)

jenis bahwa lumpur limbah primer sangat dicemarkan oleh patogen. Mencernakan lumpur secara konvensional ataupun stabilisasi aerobik tidak akan mampu menon-aktifkan organisme dengan cukup berarti. Pada daerah beriklim panas, metode penjemuran dengan ataupun tanpa disertai stabilisasi kapur nampaknya lebih baik. Lund (18) memberikan saran-saran untuk membersihkan lumpur limbah dari bidang virologi (Tabel 3.8.). Biasanya jika air itu aman dari virus berarti juga aman dari bakteri

Tabel 3.8. Saran untuk pengolahan lumpur limbah ditinjau dari virologi untuk berbagai tujuan, dari Lund (18)

Tebar permukaan tanah							
Pengolahan	Pembakaran Land fill	Suntik tanah	Hutan tanam. tak dimakan ternak	tanam. dimakan /masak ternak ikan	tanam. dima- mentah	rumpun- tang- an	taman & la- pang- an
Primer dan atau sekunder mentah	x	x	(x)				
Pencernaan anaerobik	x		x	x	x		x
Bedengan penjemuran	x		x	x	x		x
Stabilisasi kapur	x		x	x	x	(x)	x
Kompos	x			x	x	x	x
Pasteurisasi dan pengolahan panas lainnya						x	x
Irradiasi						x	x

#### Pengolahan Fisiko-Kimia

Seperti yang telah dikemukakan terdahulu, kepentingan utama kita sehubungan dengan pemanfaatan kembali air limbah adalah segi kesehatan-

nya. Kecuali kolam oksidasi, tak satupun metode penjernihan biologis yang mampu mengurangi jasad-renek sampai pada tingkatan yang aman bagi kita.

Proses-proses non-biologi yang lebih maju dapat dipakai untuk mencapai kadar disinfeksi (bersih kuman) yang memuaskan. Khlorisasi air permukaan dan air limbah, misalnya, sudah sejak lama dilakukan orang, terutama di Amerika Serikat. Di lain pihak, untuk menerapkan teknologi pengolahan maju di tempat-tempat yang relatif non-industri seolah-olah kurang realistis. Jelas sekali ada pertentangan antara kebutuhan akan keadaan bersih kuman dengan sarana yang dimiliki untuk mencapai keadaan tersebut. Selain itu, metode pengolahan kimia dapat mengakibatkan biaya operasional yang tinggi, jika bahan-bahan kimianya harus diimpor (hal ini sering terjadi di negara berkembang).

#### Khlorisasi air limbah

Khlor sudah dikenal sebagai pembasmi bakteri dan virus. Hanya untuk membunuh virus diperlukan dosis khlor yang lebih tinggi dan waktu reaksi yang lebih lama. Selain menghambat reaksi pada air limbah antara khlor dan ammonia, waktu reaksi yang lebih lama dapat menimbulkan senyawa khlor organik yang tak diinginkan. Senyawa-senyawa ini yang dikenal sebagai holoform, misalnya khloroform, bersifat cancerogenik. Reaksinya akan lebih baik lagi dalam suhu yang lebih tinggi. Khlor ini relatif murah dan proses kimianya mudah. Sebelum dilakukan khlorisasi, semua reaksi yang mungkin timbul harus diteliti secara menyeluruh. Merupakan tugas insinyur sanitasi untuk membuat proses disinfeksi seoptimal mungkin, sehubungan dengan waktu reaksi dan konsentrasi disinfektan.

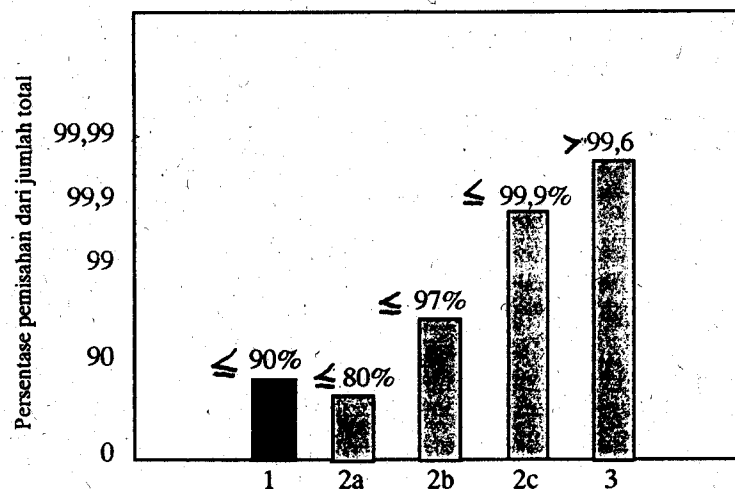
#### Pemisahan organisme melalui flokulasi air limbah

Di dalam proses pemurnian air-permukaan, terjadi efisiensi yang cukup tinggi pada proses flokulasi untuk pemisahan organisme. Terbukti bahwa tidak hanya bakteri, virus pun dapat diflokulasi; jadi dapat dipisahkan pada fase cairan. Proses ini kurang lebih akan merupakan suatu pemindahan organisme ke dalam lumpur limbah jika yang digunakan sebagai flokulan ialah garam besi atau alumunium. Jika pengolahan dilakukan dengan kapur, maka tidak hanya agregat organisme yang terjadi tapi juga -- pada nilai pH yang lebih tinggi -- penghancuran sel-sel organisme. Ini berarti bahwa disinfeksi yang tepat telah tercapai. Di sini

pun tidak hanya bakteri yang terbunuh, tapi juga virus. Untuk melihat bermacam efek yang dapat terjadi, studi-studi percobaan telah kami lakukan dengan membandingkan efisiensi dari berbagai flokulan yang berbeda-beda melalui operasi khlorisasi paralel. Hasil yang terlihat pada Gambar 3.8. berlaku untuk air limbah yang sebelumnya diolah secara biologis atau mekanis. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan adanya pengaruh pH pada pengolahan dengan kapur, begitu juga dengan berbagai daya disinfeksi dari flokulan-flokulan dibandingkan dengan khlor.

Di negara-negara seperti Mesir, batu kapur merupakan hasil alam karenanya pabrik kapur pun banyak terdapat. Jadi, pembersihan dengan kapur di negara-negara yang serupa keadaannya dengan Mesir dapat pula dilakukan dan biayanya relatif rendah.

Tidak hanya hasil industri saja yang menggunakan flokulan, hasil alam



Gambar 3.8. Reduksi jumlah total organisme pada lumpur limbah primer dan sekunder dari STP Karlsruhe-Blankenloch melalui

Flokulasi { 1 - trivalen garam Al/Fe  
2a - kapur, pH = 9,0  
2b - kapur, pH = 9,0 sampai 10,5  
2c - kapur, pH = 10,5  
Klorisasi 3

Tabel 3.9. Air Sungai Nil-Biru yang dibersihkan dengan "rauwaq" (flokulasi dengan memakai *Moringa eleifera*)

Analisis	air Sungai Nil-Biru	
	tak mendapat perlakuan	mendapat perlakuan "rauwaq"
Daya konduksi, $\mu\text{Scm}^{-1}$	145,000	190,0000
TSD, mg/l	242,000	-,0000
Zat padat yang tersaring mg/l	4.612,000	-,0000
Persen daya menguap	90,800	-,0000
Jumlah partikel per ml	9,740 . 10 <sup>6</sup>	1,8400
% Partikel yang hilang		99,9998
Mobilitas elektroporetik dari partikel, EM, $\mu\text{sec}^{-1} \text{v}^{-1} \text{cm}$	-1,800	-1,4000
COD (filter), mg O <sub>2</sub> /l	19,000	15,0000
DOC, mg/l	13,000	14,0000
Alkalinitas, mg/CaCO <sub>3</sub> /l	365,000	233,0000
pH	7,500	7,5000
P <sub>Total</sub> , mg/l	12,200	0,0000

pun menggunakannya. Kemampuan flokulan pada beberapa hasil alam telah lama diketahui sejak beberapa generasi yang lalu di beberapa bagian dunia ini (19). Baru kini kita menyadari akan adanya fenomena ini. Studi tentang prinsip dasarnya harus diupayakan agar dapat ditemukan cara penggunaan yang lebih umum daripada yang sekarang ini dilakukan di tempat-tempat tertentu saja. Dalam kepustakaan (20) diberikan contoh cara menghilangkan kekeruhan pada air Sungai Nil dengan memakai bubuk biji *Moringa oleifera*<sup>1</sup> yang biasa dipraktikkan secara tradisional di daerah pedesaan Sudan. Studi yang telah dilakukan untuk mencari mekanisme flokulasi biji tersebut memperlihatkan hasil yang serupa dengan mekanisme penggunaan poli-elektrolit yang telah dikenal itu. Diperlukan dosis optimal dan pengadukan yang tepat untuk mencapai hasil pemisahan

1 Sejenis pohon kenari yang banyak terdapat di Afrika, dan berasal dari India. Pohon ini dinamakan shagara al rauwaq yang dipakai untuk proses klarifikasi (penjernihan) oleh orang-orang Sudan; pohon sejenis *Moringa* ini juga tumbuh di Mesir.

air keruh yang memuaskan.

Beberapa analisis awal yang kami buat menunjukkan bahwa telah terjadi pemisahan partikel dalam air sungai Nil-Biru yang diolah dengan "rauwaq" (Tabel 3.9). Para pakar India juga mengemukakan percobaan serupa dengan hasil alam lainnya yang menunjukkan adanya pemisahan organisme dan kekeruhan yang sama.

### Kesimpulan

Sebuah matriks parameter yang relevan telah dibuat untuk menilai kecocokan cairan limbah untuk dimanfaatkan kembali pada pertanian. Pemanfaatan kembali untuk pertanian dianggap sebagai cara yang paling cocok dalam pemakaian sumber daya air yang langka di daerah kering. Hal ini terjadi dalam daur alami produksi dan degradasi. Namun kegiatan manusia seperti misalnya di industri dan pabrik, dapat menambah bahan-bahan yang tak diinginkan atau bahkan berbahaya bagi daur air alami. Persenyawaan zat-zat ini harus dihilangkan dulu sebelum diolah di lahan pertanian. Tingkat pengolahan tergantung pada beberapa faktor, seperti struktur tanah, iklim dan kualitas air mentah. Metode-metode pengolahan biologis dan fisiko-kimia harus dievaluasi sehubungan dengan kelayakannya bagi negara-negara non-industri atau berkembang. Untuk ini, kriteria kesehatan merupakan hal yang paling penting. Pemisahan metal berat mungkin diperlukan di daerah perkotaan. Beberapa pengolahan secara biologis dan fisiko-kimia nampaknya mempunyai prospek yang baik dalam hal penerapannya, bahkan juga di daerah-daerah pedesaan negara berkembang. Hasil-hasil industri atau alam dapat membantu pelaksanaan pengolahan air limbah terutama untuk mendapatkan kualitas kebersihan yang lebih baik daripada cairan limbah yang direklamasi.

### Kepustakaan

1. Stevens, R.M. (ed.). 1977. "Green Land - Clean Streams. Center for the Study of Federalism," Temple University, Philadelphia, Penn.
2. Shuval, H.I. (ed.). 1977. *Water Renovation and Reuse*, Academic Press, New York.
3. D'Itri, F.M. (ed.). 1977. *Wastewater Renovation and Reuse*. Marcel Dekker, New York.
4. Greater Cairo Wastewater Project Master Plan. 1978. Ministry for Housing and Reconstruction, Cairo, Egypt.

5. Demonstration Technology and Research Needs for reuse of Municipal Wastewater. Environmental Protection Technology Series, EPA-670/2-75 038.
6. Bradley, D. 1977. "Health Aspects of Water Supplies in Tropical Countries," dalam Feachem, R.G., McGarry, M. dan Mara, D. (ed.), *Water Wastes and Health in Hot Climates*, John Wiley.
7. Feachem, R.G. 1977. "Water Supplies for Low-income Communities Resource Allocation, Planning and Design for a Crisis Situation," dalam Feachem, R.G., McGarry, M., Mara, D. (ed.), *Water Wastes and Health in Hot Climates*, John Wiley.
8. Neis, U., A. Bender. 1982. "Abwasserhygienisierung: Die Wirkung des Fällungs- und Flockungsprozesses im Vergleich zur Chlorung," dalam *Korrespondenz Abwasser*.
9. El-Gohary, F., S.E. Abu-El Ela. "Wastewater Treatment via Combined Biological-Physico-Chemical Techniques," *Environmental International*.
10. Irvine, R.L. "Sequencing batch treatment of wastewaters in rural areas", *Journal WPCF*, Vol. 51, No. 2, 244-254.
11. Irvine, R.L., A.W. Busch. "Sequencing batch biological reactors- an overview," *Journal WPCF*, Vol. 51, No. 2, 235-243.
12. Goronszy, M.C. "Intermittent operation of the extended aeration process for small systems," *Journal WPCF*, Vol. 51, No. 2, 274-287.
13. Roberts, P.V. 1975. "Metals in Municipal Wastewater and their Elimination in Sewage Treatment," IAWPR Workshop on "Design-Operation Interactions at Large Treatment Plants," Vienna.
14. Higgins, T.E. "Heavy Metals and Wastewater Reuse," *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*, Vol. 8, 101-109.
15. Klope, A. 1981. "Die Bedeutung der Schwermetalle im Klarschlamm für die Pflanzenproduktion." ATV-Fortbildungskurs, Teil C/2, Oktober.
16. Ranganathan, K.R. et al. cit. dalam Carrington, E.G., *The Fate of Pathogenic Micro-Organism During Waste Treatment and Disposal*, TR 128, Water Research Center, Stevenage Laboratory, Great Britain.
17. Strauch, D. 1981. "Entseuchung." ATV-Fortbildungskurs, Teil C/2, Oktober, Kaiserlauten.
18. Lund, E. 1980. "Health problems associated with the reuse of sewage-viruses," Seminar on health aspects of treated sewage reuse. Algiers, 1-5 Juni.
19. Barth, H., M. Habs, R. Klute, S. Muller, B. Tauscher. 1982. "Trinkwasseraufbereitung mit Samen von *Moringa oleifera* Lam," *Chemikerzeitung*. Sedang dicetak.

20. Jahn, Samia Al-Azharia. 1979. "Die Bedeutung des Behennus-Baumes fur afrikanische Volksmedizin und Trinkwasserreinigung." *Pharmazie in unserer Zeit*, 8 Jahrg., Nr. 2, 54-60.
21. Asano, T., R.P. Ghirelli. 1980. "Wastewater Reuse for Groundwater Recharge and Irrigated Agriculture," Seminar on health aspects of treated sewage reuse. Algiers, 1-5 Juni, WHO.

## Bab IV

### TEKNIK MODELING DALAM PERENCANAAN SISTEM IRIGASI\*

*Emil Mosonyi, Alexandru Lindner dan Fritz Francke*

#### Model-model Matematika dan Fisika dalam Teknologi Pertanian

Perencanaan proyek teknologi pertanian, terutama proyek irigasi, merupakan salah satu prosedur yang paling rumit di antara semua kegiatan teknik, karena pemecahan masalahnya berkaitan dengan disiplin-disiplin yang sangat luas (ilmu bumi, meteorologi, hidrologi, hidromekanik, biologi, kimia, teknologi teknik, ekonomi, sosiologi, dan sebagainya). Untuk menentukan tujuan proyek pertanian (dalam bahasa programing disebut "fungsi tujuan"), ada tiga kendala utama yang harus diingat: 1. Batas ekonomi; 2. Keadaan-keadaan yang menunjang terjaminnya kualitas dalam jangka panjang; 3. Pengadaan sumberdaya alam yang berkesinambungan seperti peluluhan (*leaching*), konservasi tanah. Akibatnya, tidak mungkin dibuat "model menyeluruh" yang praktis untuk suatu proyek irigasi. Namun demikian, kita masih dapat mengevaluasi sumberdaya alam dan mengadakan pendekatan terhadap pemecahan yang optimal untuk bagian-bagian tertentu dari proyek tersebut dengan memakai model matematika dan/atau fisika.

Karena makalah ini dipusatkan pada masalah-masalah pengairan, maka model-model untuk evaluasi "data masukan pembantu" seperti aliran air --

---

\* Diterjemahkan dari Emil Mosonyi, Alexandru Lindner dan Fritz Francke, "Modelling Techniques in the Planning of Irrigation Systems."



lapisan endapan, pembuatan waduk air dan hubungan antara panen dengan tekanan air -- tidak akan dibahas. Dalam tahun-tahun terakhir ini, model matematik telah berhasil diterapkan dalam bidang-bidang seperti penjadwalan irigasi, perataan tanah, optimalisasi jaringan pipa dan kanal terbuka, program penyiraman untuk berbagai metode irigasi, teknologi dalam pembangunan irigasi, dan pengelolaan.

Mengingat pesatnya kemajuan perkembangan teknologi komputer, maka perlu ditentukan dulu jenis modelnya, apakah model matematika ataukah fisika (mungkin kombinasi keduanya), untuk memperoleh prosedur perencanaan yang ekonomis yang hasilnya dapat diandalkan. Jelas tidak mungkin untuk menggunakan kedua jenis model dalam seluruh bagian proyek maupun dalam seluruh tahapan perencanaan proyek. Akan tetapi masalah hidromekanika biasanya dapat dipecahkan dengan baik oleh salahsatu dari dua jenis model itu. Prosedur pembentukan harus didahului oleh tahapan konsepsional di mana hubungan fisika dan/atau hubungan lainnya yang akan disimulasi harus ditentukan. Biaya yang dikeluarkan untuk membentuk model fisika seringkali sebanding dengan biaya yang dikeluarkan untuk penyelidikan perangkat lunak yang diperlukan untuk model angka (*numerik*). Kedua metode ini harus disesuaikan dengan situasi lapangan apabila proses perkiraan dan penyederhanaan sudah tidak bisa dihindari lagi. Perbedaan prinsip antara kedua metode ini ialah model matematika memerlukan formulasi persamaan-persamaan yang menguraikan gejala-gejala, fungsi tujuan dan batasan, sedangkan model fisika hanya membutuhkan kekuatan-kekuatan yang berpengaruh dan menghitung faktor-faktor konversi. Untuk menentukan jenis model mana yang akan dipilih, harus dianalisis dulu kriteria berikut:

- ketepatan dan kecermatannya,
- biaya dan waktu,
- kelenturan, - pengaruh intuisi,
- kalibrasi.

Pertimbangan-pertimbangan tentang kendala penting dapat mengakibatkan model tersebut tidak dapat digunakan sejak awal.

Untuk model fisika, faktor-faktor pembatasnya ialah sebagai berikut:- dimensi model yang besar (luas laboratorium atau lokasi percobaan),

- kapasitas pompa yang terbatas,
- peralatan yang tidak memenuhi syarat,
- tidak ada kesamaan yang dapat diandalkan (karena ada lebih dari dua jenis kekuatan yang berpengaruh),

- kondisi faktor di sekitarnya yang tidak pasti,
- kurangnya waktu untuk membangun model dan mengujinya.

Model matematika tidak dapat diterapkan apabila:

- tidak ada pendekatan matematika yang dapat diandalkan,
- tidak ada kepastian dalam pemilihan data masukan,
- kondisi faktor di sekitarnya tidak dapat dibentuk dengan mantap.

Di samping itu, tingkat kecermatan yang dituntut dari hasilnya memegang peranan penting dalam membuat keputusan. Yang harus diingat ialah bahwa angka desimal berderet yang diperoleh dari hitungan komputer tidak meningkatkan derajat ketepatannya. Sekali lagi ditekankan bahwa hasil yang dapat diandalkan hanya dapat dijamin oleh ketepatan data masukan.

Faktor penting lainnya ialah ekonomi dari model, yaitu waktu dan biaya yang diperlukan. Kelebihan tingkat kelenturan yang dimiliki model matematik seringkali dapat diimbangi oleh model fisik yang memiliki kekuatan instruktif dan demonstratif yang lebih meyakinkan. Untuk menentukan keandalan hasil, di satu pihak memang perlu dipelajari pengalaman dari jenis model serupa dan di lain pihak juga perlu diwujudkan kemungkinan mengadakan kalibrasi model yang tepat.

Model matematika biasanya lebih cocok untuk simulasi sistem canggih optimalisasi jaringan pipa atau kanal, atau perataan permukaan tanah, sedangkan model fisika terutama disarankan untuk keperluan penyelidikan struktur hidraulik, masalah sungai dan pola aliran air lokal (pada pusat PAM, DAM, pipa sifon, saluran air keluar, dan sebagainya). Kelebihan model matematika adalah analisis kepekaan yang biasanya dapat dilaksanakan dengan jangkauan lebih luas serta lebih cepat daripada model fisika. Apabila pilihan jatuh pada prosedur matematika, maka penggunaan komputer dapat dibenarkan dalam keadaan berikut:

- jumlah data masukan yang sangat banyak,
- kebutuhan akan proses penghitungan yang berulang-ulang (misalnya jika sistem persamaan diferensial tidak dapat dipecahkan dengan metode matematika klasik),
- sistem persamaan matematika terlalu canggih,
- diperlukan operasi matematika dengan ketepatan yang tinggi,
- diperlukan analisa kepekaan.

Namun demikian perlu dikemukakan di sini bahwa komputer bukanlah

satu-satunya jalan keluar, karena masih banyak model matematika yang dapat dipecahkan dengan metode klasik. Ketidakpastian dan kekeliruan yang terdapat pada data masukan tidak dapat diganti oleh komputer, karena dalam keadaan demikian jumlah angka desimal yang berderet hanyalah tipuan saja.

### **Unsur-unsur Perencanaan Proyek**

Program intensifikasi hasil pertanian dalam areal luas seringkali mengalami rintangan karena terbatasnya sumberdaya alam. Keadaan demikian ini dialami jika terjadi kurang hujan selama periode pertumbuhan. Tujuan irigasi yang paling utama justru untuk menutupi kekurangan ini dengan menyediakan air buatan. Berbagai teknik telah diterapkan sepanjang zaman, masing-masing disesuaikan dengan kondisi setempat dari wilayah yang bersangkutan.

Dewasa ini berbagai fasilitas dan prosedur praktis dapat dengan mudah dipilih atau dikombinasikan oleh para insinyur perencana proyek irigasi. Pada umumnya mereka tidak dapat begitu saja menerapkan jalan pemecahan yang telah ditentukan, tapi harus membuat dulu rencana sistemnya, berdasarkan analisis kondisi setempat, yang dapat memenuhi tujuan proyek. Pada saat yang sama, aspek-aspek teknik, sosial dan ekonomi juga harus dipertimbangkan. Oleh karena itu informasi mengenai kondisi lingkungan sedapat mungkin harus lengkap. Penelitian tentang tanah, iklim, topografi, hidrologi (kuantitas dan kualitas air), situasi pertanian terakhir, dan sebagainya harus dilaksanakan. Dalam bab ini semua data masukan dianggap sudah ada seluruhnya. Selain itu, meski telah dibekali semua data pokok yang diperlukan, seorang insinyur perencana harus meneliti juga masalah-masalah berikut:

- peralihan dari pertanian tanah kering menjadi pertanian irigasi intensif,
- pengaruh penerapan irigasi pada metode pertanian.

Proyek harus dirancang mulai dari bawah ke atas, artinya harus dimulai dengan pemilihan peralatan lapangan. Sedangkan masalah suplai, distribusi dan pengaturan kerja harus dirancang sedemikian rupa sehingga pengoperasian peralatan lapangan dapat tercapai seoptimal mungkin.

### **Penentuan Parameter Peralatan dan Jaringan**

Parameter-parameter tersebut tergantung pada faktor-faktor berikut:

- program pertanian,
- kebutuhan air,
- rasio pemakaian areal irigasi,
- kebutuhan irigasi lahan dan metode irigasi.

### **1. Program pertanian**

Penyusunan suatu program rotasi tanaman merupakan langkah dasar dalam prosedur perencanaan. Umumnya, setiap petani memilih jenis tanaman masing-masing. Sedangkan si perencana harus menyiapkan rencana penanaman secara keseluruhan. Pertimbangannya didasarkan pada penelitian tanah dan pada berbagai studi yang ada dalam daftar. Program pengairan tidak mempunyai ciri statis. Oleh karena itu jika mungkin sebaiknya dilaksanakan juga analisis kecenderungan.

### **2. Kebutuhan air**

Formula standar yang dipakai untuk memperhitungkan kebutuhan air bagi tanaman seringkali mengandung faktor-faktor korektif yang berasal dari pengalaman setempat. Faktor-faktor ini bisa dinilai berdasarkan analisis frekuensi data iklim. Seorang insinyur perencana harus menentukan seberapa jauh defisit hujan yang dapat ditolerir untuk memenuhi kebutuhan air selama masa kering yang tak terduga.

### **3. Rasio pemakaian areal irigasi**

Investasi untuk peralatan bergerak proyek irigasi tergantung pada rasio antara areal yang memerlukan pengairan dengan areal yang mendapat perlengkapan ini. Rasio ini berubah-ubah menurut waktu (berdasarkan periode dan tahun) dan ruang (kebutuhan di lapangan belum tentu sesuai dengan tata tanam rata-rata). Setiap pilihan akan sangat mempengaruhi besarnya jaringan distribusi dan, karenanya, menentukan besarnya investasi. Penentuan parameter peralatan yang terlalu dikendalikan oleh faktor keamanan, dapat mengakibatkan investasi yang kurang produktif.

### **4. Kebutuhan irigasi lahan dan metode pengairan**

Setelah dilakukan berbagai studi penelitian dan semua keterangan seperti yang disebutkan di atas telah dikumpulkan, maka insinyur perencana dapat memilih metode pengairan, dan menentukan unit irigasi, areal

dan bentuknya, kebutuhan irigasi lahan, jarak waktu pengairan dan tekanan air jika dipilih sistem penyiraman. Rincian ini mengatur kepadatan air keluar (hidran), lokasi, dan panjangnya alur atau petak lahan di satu pihak dan kepadatan pipa lateral di lain pihak.

### **Rancangan Umum Proyek Irigasi**

Rancangan umum ditentukan berdasarkan kondisi lingkungan, unsur-unsur yang dibahas dalam program penyiraman, pola tanam, struktur tanah, kemampuan petani dalam teknik pengairan dan tingkat perekonomian masyarakat yang bersangkutan. Kadangkala perlu dilakukan studi perbandingan untuk mencari alternatif-alternatif yang memungkinkan. Analisis yang baik mencakup biaya untuk penggunaan peralatan lapangan dan untuk air. Berdasarkan kondisi distribusi, maka jaringan pipa/kanal terbuka dapat ditentukan. Model-model ekonomi dari rincian teknik atau dari jaringan keseluruhan perlu dikembangkan sebagai alat untuk membantu membuat keputusan. Sekarang ini telah banyak program komputer yang tersedia untuk merencanakan sebagian besar tahapan proyek. Masalah ini akan dibahas secara singkat di bagian berikut.

### **Jenis-jenis Utama Model Matematika**

Dari sekian banyak prosedur perencanaan, kita telah memilih beberapa saja yang menonjol dan betul-betul dapat diterapkan pada model matematika:

- penjadwalan pengairan untuk proyek serta pelaksanaannya,
- perataan permukaan dan pembentukan tanah,
- rancangan dan penetapan ukuran jaringan (termasuk pusat pompa),
- program penyiraman dan,
- pelaksanaan teknologi.

### **Optimalisasi Penjadwalan Irigasi**

Tahap awal perencanaan ialah menyiapkan apa yang disebut jadwal suplai, yang berarti menentukan suplai air yang diperlukan dan jangka waktunya (termasuk frekuensi dan perputaran suplai air ke lapangan atau ke lokasi irigasi) melalui evaluasi data iklim-tanaman-tanah.

Sebagai langkah pertama, harus dibuat perkiraan kebutuhan air untuk tanaman. Data yang diperlukan dapat diperoleh dengan jalan melakukan pengukuran langsung di lapangan. Karena prosedur ini membutuhkan

banyak tenaga dan waktu, maka berikut ini disarankan beberapa metode penghitungan. Empat metode yang paling cocok (seperti disarankan oleh FAO) ialah metode Blaney-Criddle, metode radiasi, metode Penman dan prosedur penguapan. "Kebutuhan air tanaman" (pemakaian konsumtif) ditentukan sebagai tingkat evapotranspirasi dari tanaman yang bebas penyakit yang tumbuh di atas lahan yang luasnya sekurang-kurangnya satu hektar, termasuk juga penguapan pada permukaan tanah, dengan kondisi tanah yang optimal (yang mempunyai pupuk dan jumlah air yang memadai) sehingga potensi produksi penuh dapat tercapai. Kebutuhan air tanaman dilambangkan sebagai  $ET_{crop}$  ( $ET$  = evapotranspirasi) dan ditulis dalam mm/hari. Keandalan hasil kalkulasi  $ET_{crop}$  tergantung dari jenis data iklim yang ada, yang mempengaruhi pemilihan metode penghitungan yang tepat. Prosedur perkiraan telah dikumpulkan dalam *FAO Irrigation and Drainage Paper 24*.

Apa yang dinamakan nilai rancangan untuk kebutuhan air tanaman dapat ditentukan berdasarkan faktor-faktor fisik dan biologi serta dengan mempertimbangkan keterbatasan ekonomi. Pemakaian air dengan sembarangan (tanpa-pengaturan) dapat menimbulkan akibat-akibat berbahaya bagi hasil panen.

Metode yang dipakai oleh berbagai ahli untuk memperhitungkan kebutuhan air tanaman, sangat berbeda satu sama lain. Beberapa ahli melakukan penghitungan dengan komputer sampai dengan penjadwalan terakhir. Sepanjang pengetahuan kami, hanya metode FAO saja yang perhitungannya dapat disesuaikan dengan berbagai wilayah geografis yang berbeda-beda. Berikut ini diberikan daftar beberapa model matematika untuk penjadwalan pengairan beserta evaluasinya secara singkat.

1. Amir, I.:

Penerbitan : Trans. of ASAE, 1976

Judul : Operation of irrigation systems under uncertainties.

Metode : "Programming linear" dan teori "queueing". Yang pertama meliputi tiga proses utama: perencanaan, pemantauan, dan pembuatan keputusan; juga perlu dipertimbangkan batasan-batasan seperti tenaga kerja, masa panen, kemampuan mesin dan berbagai suplai air. Metode kedua digunakan untuk mensimulasi jadwal. Diterapkan pada 430 hektar lahan kapas di Israel.

Penilaian : Dapat dipakai sebagai metode pelaksanaan dan pengelolaan sistem irigasi yang telah disesuaikan dengan keadaan dan tanaman setempat. Kurang begitu cocok

untuk perencanaan.

2. Stegman, E. C.

- Penerbitan : Trans. of ASAE, 1976  
Judul : Plant water stress criteria for irrigation scheduling  
Metode : Analisis regresi dari "Leaf Xylem Pressures (LXP) dengan suhu dan kelembaban tanah yang tersedia. Merupakan model untuk menaksir neraca kelembaban tanah dan LXP untuk mengurangi kebutuhan akan air. Berasal dari metode-metode konservatif.  
Penilaian : Metode yang cukup baik untuk pelaksanaan; tetapi kurang begitu cocok bagi perencanaan.

3. Doorenbos, J. dan Pruitt, W.O.

- Penerbitan : FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, "Guidelines for Predicting Crop Water Requirements", diperbaiki tahun 1977  
Judul : Crop water requirements  
Metode : Pelbagai program komputer umum telah disusun untuk metode Blaney-Criddle, Penman, radiasi dan penguapan yang mencakup seluruh daerah musim di dunia dan pelbagai jenis tanaman. Program FORTRAN IV juga dican tumkan.  
Penilaian : Dapat dipakai dalam perencanaan dan pelaksanaan.

4. Gulati H.S. dan Murty, V.N.

- Penerbitan : Agriculture Water Management, 2, 1979  
Judul : A model for optimal allocation of canal water  
Metode : Fungsi produksi tanaman. Model ini terdiri dari 3 submodel: perkiraan penguapan yang mungkin terjadi dan yang sesungguhnya; penetapan fungsi produksi air yang membandingkan hasil panen dengan suplai air; distribusi jumlah air tertentu untuk suatu pola tanam tertentu.  
Penilaian : Metode pengolahan dan pelaksanaan yang dirancang khusus untuk Bhakra Irrigation System (In dia). Kurang cocok untuk perencanaan.

Pemakaian komputer untuk penjadwalan irigasi merupakan suatu cara yang mempunyai harapan untuk meningkatkan kemampuan para pemakai irigasi dalam pengelolaan. Pembaharuan data-data iklim yang teratur sangat penting untuk memperbaiki perkiraan pemakaian air. Kelambatan dalam penerapan irigasi tidak dapat diimbangi oleh pengairan yang berlebihan di kemudian hari.

**Peningkatan Perataan dan Pembentukan Tanah**

Perataan atau meratakan tanah ialah memindahkan tanah sedemikian rupa sehingga terbentuk teras yang horizontal atau yang menurun secara teratur. Modeling tanah atau pembentukan ialah semacam perataan yang khusus dilakukan untuk mengendalikan kelembaban, sehingga memungkinkan terbentuknya rangkaian permukaan lahan yang datar (baik mendatar maupun menurun) yang sedapat mungkin disesuaikan dengan topografi setempat. Cara perataan dan pembentukan tanah ini sangat menguntungkan untuk hampir semua lahan pertanian dengan kelebihanannya sebagai berikut:

- meningkatkan keseragaman tanaman,
- mengendalikan aliran air,
- mencegah terjadinya salinisasi atau penggenangan pada tanah,
- mengendalikan erosi, terutama pada irigasi permukaan.

Sedapat mungkin harus diusahakan:

- penggarapan tanah yang seminimal mungkin,
- penggalian dan penimbunan yang seimbang,
- pencegahan terjadinya penggalian pada lapisan tanah yang subur,
- mencegah tertimbunnya lapisan permukaan tanah yang subur dengan lapisan tanah steril,
- membatasi penurunan permukaan tanah sehingga tidak menyebabkan erosi,
- penyesuaian kecuraman permukaan tanah dengan kebutuhan sarana transportasi dan teknologi pertanian.

Tugas lain dalam konteks ini ialah menentukan biaya angkut yang optimal. Tujuannya biasanya untuk mencari rute transportasi dengan biaya serendah mungkin. Untuk mencari jalan pemecahan dalam fase pemindahan tanah pada tahap perencanaan proyek, harus dibuat berbagai hipotesis, yang dalam buku ini tidak akan dibahas karena dapat dimasuk-

kan dalam semua jenis teknologi yang berhubungan dengan teknik pengangkutan tanah secara optimal. Tujuan yang dikemukakan di atas dapat disimulasi melalui berbagai jenis model matematika. Beberapa publikasi mengenai topik ini terdapat di bawah ini:

1. Thiry, I.  
Penerbitan : Wasser und Boden, 1969  
Judul : Land leveling in "piano keys"
2. Shih, S.F.  
Penerbitan : Trans. of ASAE 14 (5), 1971  
Judul : Comparison of types and methods of land forming design
3. Shih, S.F.  
Penerbitan : Trans. of ASAE 14 (6), 1971  
Judul : Symmetrical residuals method for land forming design
4. Sowell, R.S.  
Penerbitan : Trans. of ASAE, 1975  
Judul : Leveling calculation on the computer IBM 360
5. Temple, D.M.  
Penerbitan : Trans. of ASAE, 1978  
Judul : Landforming for border irrigation

### Optimalisasi jaringan

#### Rancangan jaringan

Rancangan jaringan dapat dibuat secara empiris (tidak dibahas di sini) dengan memakai teori grafik, ataupun dengan bantuan program linear. Masing-masing metode ini menggunakan algoritma khusus yang menghasilkan tingkat ketepatan yang berbeda-beda. Masalahnya dapat dirumuskan dengan cara berikut: harus dikembangkan hubungan teknologi yang seefisien mungkin antara stasiun pompa/lokasi penerima air dengan pelbagai titik distribusi (seperti hidran/stasiun tekanan air). Optimalisasi jaringan dapat dirumuskan dengan kriteria ekonomi berikut ini: maksimisasi dari apa yang dinamakan nilai investasi-sekarang, dari tingkat keuntungan dalam negeri, dari rasio biaya/manfaat, juga minimalisasi biaya unit produksi

tanaman. Namun dalam mengupayakan penghematan yang optimal dari proyek irigasi, mungkin kita akan sering menjumpai rancangan proyek yang tidak masuk akal. Oleh karena itu kita harus cukup puas dengan parameter ekonomi yang dapat melampaui nilai-nilai yang agak rendah saja.

Sebagai contoh dapat dikemukakan metode "Rousset" untuk menelaah segi ekonomis dari jaringan bercabang. Dengan menggunakan metode ini, biaya jaringan akan banyak berkurang dibandingkan dengan peninjauan secara empiris. Metode ini terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Peninjauan rute yang diperkirakan. Algoritma "Kruskal" dapat mengidentifikasi sambungan-sambungan untuk jumlah panjang minimum jaringan secara keseluruhan.
2. Peninjauan rute 120 derajat. Untuk memperbaiki rute tahap pertama, titik-titik sambungan dengan cabang 120 derajat harus ditambahkan. Langkah pertama dan kedua tidak termasuk parameter penyaluran air dan biaya.
3. Rute ekonomi. Dalam langkah ini, data untuk penyaluran air dan ukuran harus dimasukkan. Diameter diperbaiki seoptimal mungkin.
4. Rute ekonomi yang diperbaiki. Kurang baiknya jaringan pada tahap ini disebabkan terutama oleh adanya rute yang berbelok-belok dari pipa utama. Kekeliruan seperti ini dapat diperbaiki dengan memperhitungkan parameter selanjutnya, seperti posisi titik-titik penting (hidran), tekanan air yang diperlukan, penyaluran yang lebih baik dan diameter pipa. Setiap perbaikan atau bentuk baru dari rancangan harus diuji melalui optimalisasi diameter. pengulangan sebanyak tiga atau empat kali akan memberikan hasil yang memuaskan.

#### Ukuran jaringan cabang

Unsur dasar dalam model matematika yang diperlukan untuk mengukur jaringan cabang ialah "bagian pipa", yang didefinisikan dengan kuantitas berikut: panjang, penyaluran rata-rata, tekanan air minimum, ketinggian geodetik. Variabel sistemnya ialah panjang, besar dan bahan dari pipa. Prosedurnya dapat dilaksanakan dengan memakai program linear dengan batasan-batasan pokok sebagai berikut:

- diameter dan bahan yang ada kaitannya dengan pajak cukai,
- nilai batas velositas aliran air maksimum dan minimum,
- panjang seksi-seksi (telah ditentukan dalam penghitungan sebelumnya),



- batas tekanan air (minimum, letupan, empasan air),
- tarif energi yang dapat diterima.

Sebagai fungsi tujuan, dapat dipakai ciri ekonomi maksimal atau minimal. Berikut ini dikemukakan secara singkat beberapa model instruktif untuk perencanaan jaringan:

1. Clement, R.

- Penerbitan : La Houille Blanche 5, 1966  
 Judul : Calculation of flow rates in irrigation networks operating to "on demand" conditions  
 Metode : Model ini melibatkan proses stokastik "hidup dan mati", karena jaringan irigasi merupakan pusat kebutuhan aliran air yang terus-menerus pada waktunya, yang muncul "HIDUP" sewaktu air mengalir, lalu menghilang atau "MATI".  
 Penilaian : Dengan metode ini isi waduk pembantu dapat diperhitungkan. Metode ini juga dapat memecahkan masalah dalam pengaturan kanal.

2. Rousset, M.

- Penerbitan : Colloque d'irrigation et du drainage, Aix en Provence, 1971  
 Judul : Tracing of branched networks for irrigation  
 Penilaian : (dalam makalah ini)

3. Perold, R.

- Penerbitan : Proc. of ASCE, Ir+Dr, 100, 1974  
 Judul : Economic pipe sizing in pumped systems  
 Metode : Ukuran pipa yang paling ekonomis dalam sistem pompa diperoleh dengan menentukan kecepatan aliran dari satu pipa dengan ukuran tertentu ke pipa lain dengan ukuran yang berbeda menurut jangka waktu pemompaan per tahun.  
 Penilaian : Metode ini bisa bermanfaat untuk merancang sistem aliran cabang.

4. Karmeli, D.

- Penerbitan : Proc. of ASCE, Ir+Dr, 1979  
 Judul : Analysis of closed conduit irrigation system and

its subdivisions

- Metode : Analisis ini dibuat berdasarkan penilaian semua komponen dari sistem irigasi dan menyangkut definisi fungsi biaya total suatu sistem dan ham-batannya. Prosedur yang dipakai juga dapat memberikan ukuran optimal dari berbagai seksi pipa yang berbeda-beda.

5. Saxen, A. dan Reinebeck, B.

- Penerbitan : Proc. of Leichtweiss Institute, Braunschweig  
 Judul : The most economic location of a pumping station depending on the system, on the network and on the geometrical shape of an irrigated area.  
 Metode : Perencanaan bidang lahan yang mendapat irigasi, yang dibagi-bagi lagi menurut lokasi sebelah dalam atau luar dari titik keluarnya air.

Metode pengoperasian sistem suplai air untuk irigasi dapat digolongkan sebagai terus-menerus, berputar, dan suplai atas kebutuhan air. Pengoperasiannya yang terus-menerus harus disesuaikan dengan kebutuhan irigasi yang berubah-ubah sepanjang musim. Pada umumnya metode ini digunakan untuk kanal-kanal utama yang mensuplai lahan seluas 50 hektar atau lebih. Hanya pada beberapa monokultur saja (padi, lahan, rumput, kebun buah-buahan) suplai yang terus-menerus harus dijaga agar mencapai lokasi. Metode berputar umumnya diterapkan pada irigasi permukaan; biasanya ditentukan dulu jumlah suplai yang pasti, dan kalau ada perubahan kebutuhan baru dipecahkan dengan mengubah waktu jeda dan lamanya pengairan air. Jadwal harus sudah disiapkan terlebih dulu. Metode ini kurang cocok untuk pola tanam yang beraneka ragam atau jika terjadi perubahan suplai yang mendadak.

Untuk pelaksanaan yang optimal, metode "suplai berdasarkan kebutuhan" memerlukan investasi yang tinggi untuk keperluan sistem suplai utama (kanal, struktur, dan lain-lain) dan sistem manajemen tingkat tinggi. Metode ini terutama terbatas pada sistem pipa, yaitu pengairan penyiraman atau proyek-proyek kecil (kurang dari 50 hektar).

*Optimalisasi program pengairan*

Program penyiraman tergantung pada metode pengairan di lahan, yang

dapat dibagi dalam empat kelompok pokok: pengairan permukaan, alat siram, tetes dan irigasi bawah-tanah. Selanjutnya masing-masing kelompok dapat dibagi lagi dalam beberapa subvarian.

Karena energi yang diperlukan rendah, maka irigasi permukaan akan tetap populer, apalagi bila masalah air yang terbuang dapat diatasi. Itulah sebabnya dayaguna hidraulik dalam "pipa pindah" yang berfungsi sebagai pensuplai air di alur atau lahan irigasi, sedang diteliti di institut kami dewasa ini.

Bantuan peralatan komputer modern dewasa ini semakin sering diterapkan. Kondisi-kondisi faktor di sekitarnya dan geometri lebih mudah dinyatakan secara matematika untuk irigasi pematang daripada untuk irigasi alur. Oleh karena itu, banyak usaha dicurahkan untuk menganalisis aliran di lahan-pematang. Variabel-variabel terpenting ialah kecepatan aliran air masuk, kecuraman lokasi, tingkat kekasaran hidraulik dan infiltrasi tanah. Model irigasi permukaan lama, yang diterapkan satu dasawarsa yang lalu, cenderung hanya mencakup sebagian proses irigasi, yaitu mencoba membuktikan kebenaran persamaan dasarnya. Model-model lebih mutakhir yang dibuat berdasarkan pengalaman terdahulu, dapat menggambarkan proses irigasi yang lengkap. Masalah perpindahan air maksimum nonerosi semakin jarang timbul. Untuk mencari nilai batas yang lebih dapat diandalkan, maka institut kami sekarang ini sedang mengadakan suatu proyek penelitian.

Kesemua model matematika ini menggunakan persamaan kontinuitas atau neraca volume. Perbedaan di antaranya terutama terletak pada formulasi persamaan gerakan. Jadi kelompok pokoknya ialah:

- Model hidrodinamik penuh ("full hydrodynamic model") menggunakan persamaan St. Venant,
- Model kelembaban-nol ("zero-inertia model") di mana semua ketentuan (percepatan) kelembaban diabaikan karena kecepatan yang sangat rendah, biasanya terjadi pada irigasi permukaan,
- Model kedalaman normal ("normal-depth model") di mana kedalaman dari titik-titik penting pada aliran permukaan dianggap sebagai normal, sedangkan bentuk profilnya terbentuk secara alami sebelum dilakukan perhitungan.

Dewasa ini model kelembaban-nol untuk irigasi perbatasan lebih

populer daripada yang lainnya. Nampaknya model ini bisa diterapkan di lapangan, cocok untuk berbagai macam situasi/kebutuhan dan dapat diselenggarakan dengan biaya yang memadai. Model-model serupa untuk irigasi alur sedang dibangun sekarang ini di Amerika. Beberapa makalah penting yang pernah diterbitkan terdaftar di bawah ini:

1. Sakkas, J. dan Strelkoff, T.

Penerbitan : Proc. of ASCE, Irr+Dr, 100, 1974  
Judul : Hydrodynamics of surface irrigation-advance phase  
Metode : Masalah sama seperti yang diuraikan pada nomor 5, telah dipecahkan dengan bantuan persamaan St. Venant.

2. Strelkoff, T.

Penerbitan : Proc. of ASCE, Irr+Dr, 103, 1977  
Judul : Algebraic computation of flow in border irrigation  
Metode : Masalah yang sama dipecahkan dengan persamaan kontinuitas. Penelitian lapangan sudah pernah dilakukan, namun hanya dalam jarak yang pendek-pendek saja.

3. Clemmens, A.J. dan Strelkoff, T.

Penerbitan : Proc. of ASCE, Irr+DR, 105, 1981  
Judul : Dimensionless advance for level-basin irrigation  
Metode : Pemecahan grafis dalam bentuk irigasi tanpa ukuran berdasarkan persamaan kontinuitas dan laju aliran dalam kondisi kelembaban-nol.

4. Reddy, J.M.

Penerbitan : Proc. of ASCE, Irr+Dr, 107, 1981  
Judul : Optimal design of border irrigation systems  
Metode : Dengan memakai metoda simulasi hidraulik irigasi-permukaan, dikembangkan hubungan antara efisiensi pemakaian air dengan variabel rancangan sistem. Keuntungan kotor dari panendan biaya untuk air, tenaga dan membangun saluran, diperhitungkan dengan prosedur optimalisasi. Variabel rancangannya ialah panjang aliran, tingkat dan waktu aliran masuk, lebar batas dan jumlah batas di lahan.

Sebuah contoh instruktif lain dari model fisik dapat ditambahkan:

5. Jobling, G.A. dan Turner, A.K.

Penerbitan : Proc. of ASCE, Irr+Dr, 99, 1973

Judul : Physical model of border-strip-irrigation

Metode : Salah satu dari beberapa model fisika untuk irigasi perbatasan. Berdasarkan pengujian model, telah dikembangkan persamaan-persamaan yang menjelaskan profil batas air yang semakin maju, tingkat majunya, dan se bagainya.

*Optimalisasi pelaksanaan*

Proyek-proyek teknologi pertanian dibedakan oleh kerumitan struktur dan pemasangannya (stasiun pompa, *aqueducts* (terowongan air), jembatan, jaringan pipa dan/atau kanal untuk irigasi dan saluran pembuangan, peralatan penyiraman, pemasangan listrik, peralatan untuk mengukur air, pengendali jarak jauh, jaringan jalan, usaha menahan angin, dan sebagainya). Kondisi berikut ini biasanya sering dihubungkan dengan proyek-proyek seperti ini:

- ukuran yang luas,
- sulit dicapai,
- terpencil dari pusat pemukiman penduduk,
- volume tanah yang besar dan/atau pekerjaan beton yang membutuhkan areal lokasi yang luas.

Kondisi-kondisi di atas sering menimbulkan masalah khusus dalam tahap perencanaan, konstruksi, pengaturan lokal, suplai bahan-bahan dan pengaturan proses produksi. Salah satu cara untuk memecahkan masalah seperti ini ialah dengan CPM (*Critical Path Method*) yang dikembangkan oleh Kelley dan Walker di Amerika Serikat, tahun 1957. Pada tahun 1959 muncul variannya yang dinamakan PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) dan disusun oleh varian-varian berikutnya PERT-COST, PERT-TIME dan lain-lain. Pada tahun 1960 MPM (*Metra Potential Method*) diajukan di Prancis. Jenis-jenis prosedur lainnya dikembangkan kemudian, misalnya RAMPS (*Resource Allocation and Multiproject Scheduling*) dan SPAR (*Scheduling of Projects and Allocation of Resources*). Penggunaan metode organisasi semacam ini dalam teknologi

pertanian memerlukan bantuan tenaga ahli yang memiliki pengetahuan tentang proses teknologi dan rancangan jaringan.

**Kesimpulan**

Berdasarkan pengalaman akhir-akhir ini, para pakar memperkirakan bahwa kemajuan dalam bidang irigasi di masa depan akan ditandai oleh aspek-aspek berikut:

- mengecilnya investasi,
- berkurangnya kebutuhan energi,
- penyederhanaan operasi pertanian dengan menggunakan air irigasi untuk pengangkutan pupuk dan/atau bahan kimia lain,
- penyesuaian kapasitas jaringan terhadap perubahan kebutuhan air,
- penghematan air dan peningkatan efisiensi irigasi, terutama untuk irigasi permukaan (batas kanal, pemakaian pipa pindah, dan lain-lain),
- peningkatan pemakaian mesin otomatis untuk mengurangi tenaga kerja,
- pemanfaatan kembali air selokan melalui pengawasan kualitas yang sesuai untuk irigasi,
- irigasi yang menggunakan air limbah dari saluran selokan dan industri,
- pengurangan areal nonproduktif (sistem kanal digantikan oleh jaringan pipa),
- meningkatnya pemanfaatan areal irigasi dengan aneka tanaman,
- pengendalian salinisasi, pengendalian peningkatan permukaan air tanah yang membahayakan dan erosi,
- latihan untuk petani, pekerja dan juru teknik yang terampil dalam mengoperasikan dan mengelola irigasi.

Maksud tulisan ini ialah untuk mengemukakan dan menilai beberapa metode matematika yang diperkirakan dapat diterapkan dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek serta untuk mengambil beberapa kesimpulan darinya.

Meskipun tulisan ini terbatas hanya pada membahas irigasi saja, namun perlu ditekankan di sini pentingnya masalah pembuangan yang seringkali tidak dapat dipisahkan dari masalah irigasi. Menurut pendapat kami, prosedur perencanaan matematika di masa depan kemungkinan besar

akan berlanjut menjadi *model kombinasi irigasi drainase*.

Sebagai penutup di sini juga ingin ditekankan pentingnya aspek pengendalian banjir, navigasi dan perkembangan tenaga air. Dalam bidang ini, bahkan pelaksanaan proyek-proyek besar pun memerlukan bantuan tenaga dan kerjasama dari staf, yang walaupun tidak besar tetapi terampil dan bisa diandalkan. Di lain pihak, pelaksanaan irigasi memerlukan kerja keras manual yang terus menerus seperti juga kerjasama dengan para petani yang kebanyakan mungkin tidak memiliki keterampilan sama sekali, bahkan mungkin buta huruf. Dengan demikian, keberhasilan suatu proyek irigasi tidak tergantung dari model matematika yang hebat dan teknologi mutakhir, namun lebih ditentukan oleh kualitas manusianya, kondisi sosial dan kerjasama para petani. Faktor manusia ini sering sekali diabaikan, sehingga menimbulkan sistem pengairan yang bermutu rendah atau bahkan penolakan terhadap sistem pengairan itu. Oleh karena itu, perencanaan proyek irigasi harus selalu mengikutsertakan hal-hal berikut (yang disesuaikan dengan kebutuhan dan situasi setempat):

- lahan pertanian percobaan dan/atau teladan,
- program pendidikan,
- penelitian tentang lingkungan sosial (termasuk aspek kesehatan dan medis),
- perumahan dan prasarana.

Akhirnya, tujuan dan cara-caranya sampai dicampuradukkan. Manusia tidak diciptakan untuk menjadi budak teknologi; akan tetapi, justru irigasi dan teknologi merupakan cara untuk meningkatkan kebudayaan dan kehidupan manusia.

#### Kepustakaan

1. Blidaru, N., G. Pricop, A. Wehry. 1981. "Irrigation and Drainage (in Rumania)." *Didaktischer u. Padagogischer Verlag*, Bukarest.
2. Doneen, L. 1971. "Irrigation Practice and Water Management." FAO Irrigation and Drainage Paper No. 1, Rome.
3. Doreenbos, J., W. Pruitt. 1977. "Guidelines for Predicting Crop Water Requirements." FAO Irr. and Dr. Paper No. 24, Rome.
4. FAO Agricultural Services Bulletin No. 28, 1977. "Mechanization of Irrigated Crop Production, Rome.
5. Jensen, M. 1980. *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*.
6. Kobus, H. 1980. "Hydraulic Modelling." *DVWK Bulletin*, No. 7, Verlag

Paul Parey.

7. Mosonyi, E. 1966. "Gedanken uber wasserwirtschaftliche Rahmenplanung in Entwicklungslandern." *Wasser u. Energiewirtschaft* (Baden), No. 6, 1-8.
8. Mosonyi. 1968. "Die Gliederung der wasserwirtschaft und ihre neuzeitlichen Methoden." *Z. Zeitschrift fur Bewässerungswirtschaft*, No. 2, 105-141.
9. Mosonyi. 1969. "Technische Moglichkeiten fur die Erfüllung landwirtschaftlicher Anforderungen." *Z. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft*, No.1, 109-115.
10. Planning Methodology Seminar, Bucharest 1972, FAO Irr. and Dr. Paper No. 11, Rome.
11. Slabbers, P. 1971. "Design Criteria for Basin Irrigation Systems." FAO Irr. and Dr. Paper No. 3, Rome.

## Bab V

# PEMANFAATAN KEMBALI AIR LIMBAH UNTUK TUJUAN PERTANIAN DI JERMAN BARAT\*

(Dengan Kota Braunschweig Sebagai Contoh)

*Gerrit Ermel dan Rolf Kayser*

Sebagai pilihan dari pengolahan air limbah yang biasa dilakukan di kilang-kilang mekanis-biologi dengan tahapan lebih maju ialah pengolahan di tanah. Dengan metode ini dapat dihasilkan suatu cairan dengan kualitas tinggi. Prosesnya biasanya meliputi degradasi bahan organik dan bahan-bahan lainnya dalam ekosistem alami.

Sebelum mengolah tanah dengan limbah, harus diupayakan menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

- adakah tanah yang cocok?
- apakah petani di lahan tersebut bersedia mendapatkan irigasi yang berasal dari limbah, dan apakah mereka menyadari masalah-masalahnya?
- apakah pemerintah kota, sebagai produsen air limbah, berminat dalam pengolahan tanah ini dan mengetahui permasalahannya?

Kota Braunschweig telah menerapkan pengolahan tanah dengan limbah sejak tahun 1896, ketika sistem pengangkutan sampah diterapkan dan usahatani dengan limbah, yang dimiliki kotapraja, mulai dioperasikan. Ketika itu irigasi dilakukan dengan penggenangan permukaan.

\* Diterjemahkan dari Gerrit Ermel dan Rolf Kayser, "German Experience in the Reuse of Wastewater for Agricultural Purpose."

Menjelang akhir Perang Dunia II, usahatani limbah tidak lagi mampu menampung. Karena pengalaman yang baik dalam pengolahan tanah ini, maka ditetapkan untuk menambahkan sebuah sistem pengolahan tanah yang sama sekali baru dengan menggunakan irigasi siram (*sprinkle*), yang memulai operasinya pada tahun 1957. Dewasa ini limbah kota Braunschweig (dengan penduduk sekitar 250.000 orang) yang berasal dari beberapa industri dan kelompok masyarakat kecil yang terdiri dari jumlah aliran sebanyak 60.000 m<sup>3</sup>/hari, diolah di lahan-lahan seperti ini.

Di Jerman, Wolfsburg merupakan satu-satunya kota besar lainnya yang menerapkan pengolahan tanah ini. Pengaturan dan perkembangan sistem kota Braunschweig dan Wolfsburg hampir serupa. Dengan demikian pengalaman yang didapat dari Braunschweig dan Wolfsburg dapat dikemukakan sebagai contoh di Jerman.

Namun penulis menyadari kenyataan bahwa pengalaman yang didapat dari Braunschweig belum tentu dapat diterapkan di wilayah beriklim kering. Sistem irigasi kota Braunschweig yang ada sekarang ini akan lebih mudah dipahami dengan mengetahui sejarah perkembangannya selangkah demi selangkah. Sistem ini akan diuraikan lebih lanjut di bawah ini.

## Perkembangan Sejak Tahun 1945

Sebelum tahun 1945, sistem jaringan limbah terdiri dari areal dengan gabungan pipa-pipa got dan areal dengan sistem jaringan terpisah-pisah. Sistem gabungan pada bagian pusat kota tua sudah rusak oleh bom. Langkah pertama yang diambil ialah merekonstruksi dan mengubah dari sistem gabungan ke sistem terpisah. Karena daerah kota ini agak rata tanahnya, 47 stasiun pompa air telah dibangun sampai sekarang ini -- suatu jumlah yang cukup besar. Hampir semua air limbah ini dikumpulkan pada stasiun pompa induk "Olper", untuk disaring dan dihancurkan, lalu dipompa melalui pipa tekan ke usahatani limbah.

Sekitar tahun 1950, mulai diadakan pembicaraan dengan pihak yang berwenang, apakah akan membangun kilang pengolahan atau tetap pada sistem pengolahan tanah saja. Pemerintah lebih menginginkan pengolahan tanah karena adanya polusi di Sungai Oker (aliran pada musim panas sebanyak 3 m<sup>3</sup>/s). Lahan yang cocok dengan tanah agak berpasir berada di sebelah timur-laut usahatani limbah. Kalau usahatani dengan limbah dimiliki oleh kotapraja, maka sebaliknya lahan ini milik sejumlah besar petani. Karena tanahnya tidak subur sehingga hasilnya pun jelek, maka tidaklah begitu sukar untuk mengajak petani ikut menjadi anggota



Perkumpulan Pemanfaatan Limbah/SUA (Sewage Utilization Association) bersama-sama kotapraja Braunschweig.

Masalah berikutnya ialah biaya investasi sebesar 25 sampai 30 juta DM dan biaya operasional sebesar kira-kira 3 juta DM per tahun. Karena ketika itu sedang terjadi kekurangan pangan, maka pemerintah Negara Bagian Lower Saxony maupun Pemerintahan Federal menganggap irigasi limbah ini termasuk tindakan pertanian. Akhirnya keduanya memberi bantuan sebanyak 95% dari biaya investasi. SUA bertanggung jawab dalam membentuk staf untuk mengatur dan melaksanakan irigasi beserta bengkel pemeliharaannya dan sebagainya. Para petani setuju membayar 120 DM per hektar setahun yang dianggap cukup adil, mengingat peningkatan hasil panen yang akan dihasilkan nanti. Sisanya, biaya tahunan, akan dibayar oleh kotapraja Braunschweig. Jumlah sisa ini diperkirakan akan sama dengan biaya tahunan yang diperlukan untuk kilang pengolahan limbah. Setelah semua ini disetujui, didirikanlah SUA pada tahun 1954. Perencanaan akhir segera mulai dipersiapkan, dan konstruksi mulai dibangun. Setelah tanah untuk stasiun pompa induk dinaikkan beberapa meter, limbah dapat dialirkan melalui pipa ke lokasi irigasi. Oleh karena itu, pipa harus dibangun terlebih dahulu. Sejalan dengan itu juga dibangun stasiun pompa nomor 1 serta jaringan pipa tekan. Pada tahun 1957 daerah irigasi yang pertama mulai beroperasi, lalu pada tahun 1966 yang keempat dan terakhir (Gambar 5.1).

Air limbah hanya menerima penjernihan awal mekanis yang sangat kasar pada stasiun pompa induk. Bahan padat berat mengendap dalam tangki keseimbangan masing-masing dari keempat stasiun pompa irigasi. Lumpurnya disedot ke dalam kolam lumpur untuk dicerna dan dieringkan.

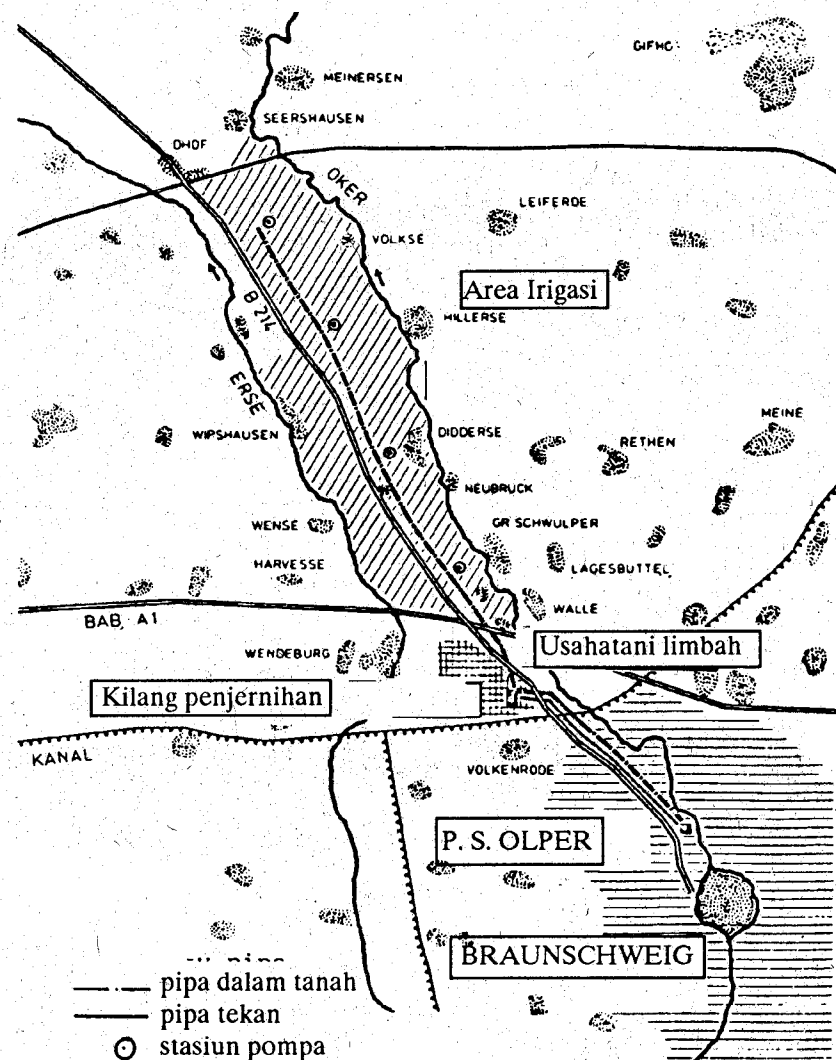
Selama sepuluh tahun pertama dari pengoperasian sistem irigasi ini, ternyata apa yang diasumsikan dan diperkirakan semula benar-benar terjadi. Khususnya hasil panen benar-benar meningkat. Jumlah pupuk yang diperlukan berkurang dan kualitas air sungai menjadi lebih baik.

Akan tetapi pada awal tahun tujuh puluhan, penduduk yang tinggal di dalam dan sekitar daerah irigasi limbah, mengeluh tentang bau yang tidak sedap dari sampah, dan kemungkinan adanya penularan penyakit melalui bakteri sampah.

Oleh karena hal ini merupakan masalah politik, maka Dinas Air Negara Bagian Lower Saxony memerintahkan pelaksanaan sebuah survei khusus yang dapat menjadi dasar pertimbangan pembuatan keputusan.

1. Jika masalah lingkungan ini dipecahkan dengan membangun kilang

pengolahan sampah untuk kota Braunschweig, maka pemerintah kotapraja tidak akan ikut membiayai irigasi. Namun tanpa irigasi, pertanian pada daerah tersebut tidak akan ekonomis lagi, dan kualitas air



Gambar 5.1. Situasi Kota Braunschweig, usahatani limbah, kilang penjernihan awal dan areal irigasi

dari Sungai Oker (tempat dialirkannya air kilang penjernihan) akan merosot.

2. Irigasi limbah melalui alat siram dapat diteruskan jika diambil tindakan pengamanan tertentu (misalnya jarak pancar dengan perumahan harus lebih dari 150 m atau 100 m, kalau memakai alat siram khusus, jika arah angin ditujukan ke perumahan) dan jika kilang penjernihan awal biologi dibangun untuk mengurangi bau sampah.

Dinas Air menyetujui usulan di atas, lalu dikeluarkan peraturan mengenai pengoperasian alat siram dan pengamanan jarak.

### **Penjernihan Awal Air Limbah Secara Biologis**

#### *Konsepsi umum penjernihan awal*

Persyaratan berikut ini harus dipenuhi oleh kilang penjernihan awal:

1. Air untuk irigasi, baik melalui irigasi siram maupun penggenangan permukaan, harus bebas dari bau sampah,
2. Pengeringan lumpur-kotor di lokasi pemanfaatan-limbah jangan dipakai lagi karena mengeluarkan bau,
3. Usahatani limbah harus mampu menampung aliran maksimum yang ditimbulkan oleh peningkatan penduduk dan pertambahan aliran air selama hujan badai karena kapasitas sistem pemanfaatan-limbah terbatas,
4. Juga harus diperhatikan bahwa lahan pertanian membutuhkan bahan organik supaya air irigasi tidak meresap terlalu cepat,
5. Penjernihan awal mungkin dapat diperluas menjadi penjernihan biologis biasa yang menghasilkan cairan berkualitas tinggi (nitrogen dan fosfor, BOD yang rendah).

Karena sistem penyemprotan air ini merupakan proses yang sangat efektif untuk pertukaran gas, maka konsentrasi yang sangat kecil pun dari unsur-unsur sampah seperti asam organik dan hidrogen sulfida sudah mampu mengeluarkan bau. Dengan demikian persyaratan penjernihan awal tidak hanya mengurangi bahan-bahan yang mengeluarkan bau tapi juga mencegah sampah setelah diolah menjadi busuk dalam jaringan distribusi. Satu-satunya cara untuk menanggulangi masalah ini ialah

melalui proses pengolahan awal biologis untuk membio-oksidasikan hidrogen sulfida, asam organik dan hampir semua bahan organik yang mudah larut, karena mereka inilah yang dapat kembali membusuk setelah mengalami pembersihan awal.

Berdasarkan pertimbangan di atas, maka jelas kilang pengaktifan lumpur yang terbaik. Kilang ini harus dibangun pada usahatani limbah. Masalahnya ialah bagaimana cara menangani lumpur limbah ini. Pencernaan dan pemisahan cairan melalui tangki-tangki yang ditempatkan di lahan pertanian yang mendapat irigasi alat siram merupakan salah satu kemungkinan.

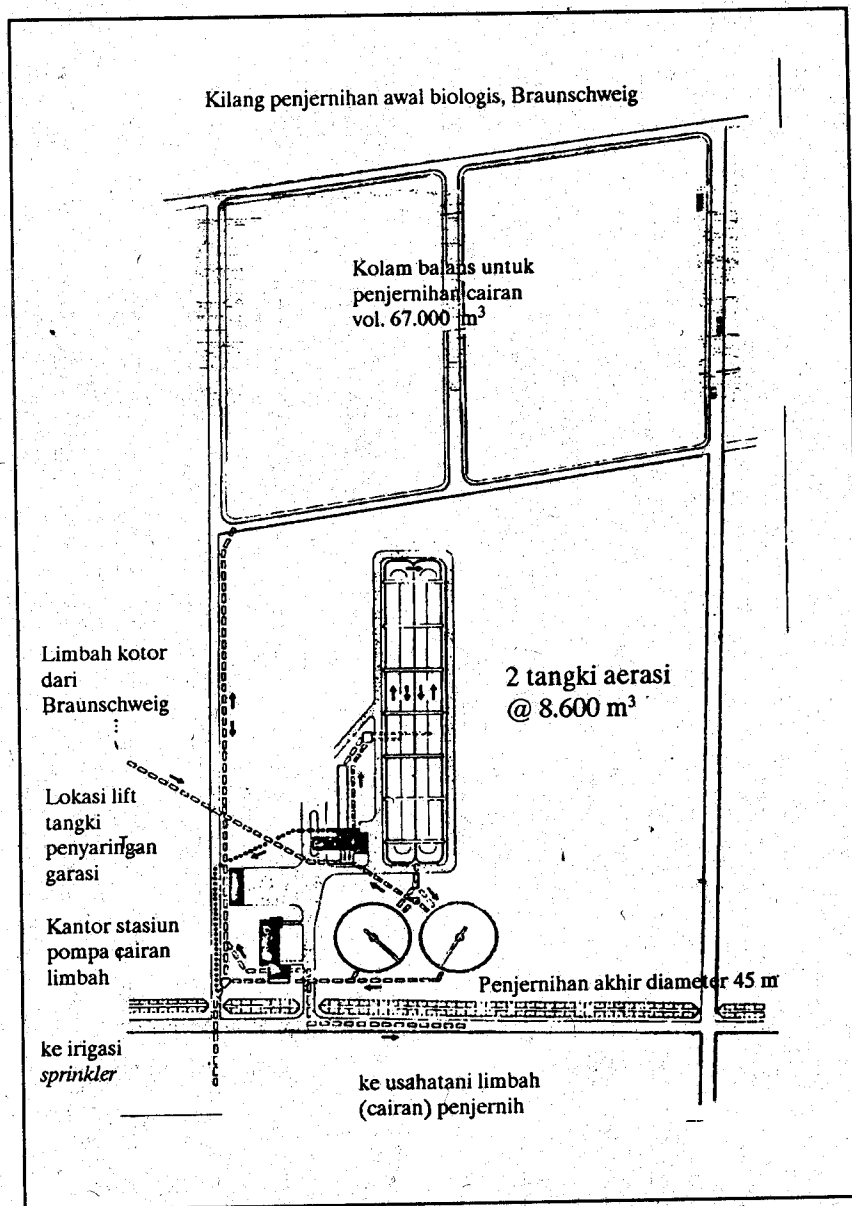
Ketika dilakukan penelitian, ditemukan bahwa hampir semua bahan padat dari sampah kotor ikut dalam irigasi karena tingginya gerakan putaran dalam tangki keseimbangan dan pengendap. Karena itulah maka direncanakan untuk mencampurkan lumpur limbah yang diaktifkan dengan sebagian cairan yang mengalir ke dalam sistem pemanfaatan sampah. Usahatani limbah yang menampung irigasi penggenangan akan menerima cairan yang telah diolah ini hanya dalam masa aliran maksimum saja. Diperkirakan bahwa nantinya tingkat pemakaian akan lebih meningkat lagi.

Karena kadar pengolahan yang diperlukan untuk mengurangi hampir semua bau sampah serta untuk menghindari terjadinya pembusukan pada campuran cairan yang telah diolah dengan sisa lumpur limbah dalam jaringan distribusi belum diketahui, maka dilakukan proyek-proyek percobaan pada tahun 1974 dan 1975. Ternyata bahwa masa penahanan dalam kilang pengaktifan lumpur harus melebihi dua jam dan umur lumpur harus lebih dari satu hari. Dalam kondisi ini campuran cairan tidak membusuk setelah disimpan selama 24 jam dalam kondisi anoksik; terutama tidak ada hidrogen sulfida yang terbentuk. Konsentrasi rata-rata bahan padat yang tertahan dari cairan yang menyemprot diperhitungkan antara 600 mg sampai 800 mg/liter, tergantung dari proporsi air limbah yang disemprotkan atau dialirkan ke usahatani limbah. Untuk mencegah agar bahan padat mengendap dalam tangki keseimbangan, maka tangki harus diisi dengan udara

### **Kilang Penjernihan Awal (Gambar 5.2)**

Rancangan aliran dan kandungan (*flow and load*) untuk tahun 2000 diperkirakan sebagai berikut:

aliran setiap hari      72.000 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>



**Gambar 5.2.** Kilang penjernihan awal

aliran maksimum	5.000 m <sup>3</sup> .j <sup>-1</sup>
kandungan BOD	25 t.hr. <sup>-1</sup>
ekuivalen penduduk	460.000

Kilang pengolahan awal terdiri dari:

- pompa putar untuk sampah kotor dan lumpur yang dihasilkan,
- palang-palang pemisah untuk sampah kotor, lumpur yang dihasilkan dan kelebihan lumpur,
- ruangan grit (batu kerikil) diaerasi,
- dua buah waduk aerasi dengan rotor besar, masing-masing 8.600 m, volume kandungan BOD 1,5 kg BOD per m<sup>3</sup> per hari, masa penyimpanan selama aliran maksimum 3,5 jam,
- dua buah penjernih akhir dengan diameter masing-masing 45 m, kecepatan aliran (puncak) 1,7 m.j<sup>-1</sup>.

Hasil cairan akhir yang berasal dari penjernih, mengalir ke dalam sistem pemanfaatan. Cairan ini melewati stasiun pompa yang memompa kelebihan air ke lahan sampah atau dalam kolam penyimpanan untuk disimpan sementara. Pada masa aliran rendah di malam hari, air dari kolam penyimpanan dialirkan ke dalam sistem pemanfaatan sampah.

Dengan membesarkan volume waduk aerasi tiga kali lipat dan menambahkan tangki-tangki pengendap primer, sebuah penjernih akhir dan pemampung lumpur limbah, kilang ini bisa dikembangkan menjadi kilang pembersih konvensional.

Pekerjaan membangun kilang pengolahan awal dimulai pada bulan Mei 1978, dan sudah mulai beroperasi sebagian pada bulan September 1979. Karena penggabungan penjernihan awal air limbah secara biologis dan pengolahan tanah diperkirakan dapat menjadi pengganti pengolahan air limbah maju, maka Kementerian Riset dan Teknologi Pemerintah Federal ikut membantu sebagian dari biaya investasi dan memberi kontrak riset kepada Institut Pengelola Air Limbah (Institute for Wastewater Management) dan Institut Kesehatan (Institute for Hygiene) untuk melakukan penelitian dan mengoptimalkan kemampuan sistem ini.

#### Usahatan limbah

Sejak tahun 1896 usahatan limbah ini telah beroperasi terus-menerus. Usahatan ini dirancang untuk penduduk sebanyak 100.000 orang dengan aliran setiap hari 20.000 m<sup>3</sup>. Tingkat pemakaian dirancang sebanyak satu

hektar untuk 250 p.e. (1 hektar = 10.000 m<sup>2</sup> atau 2,5 are) atau 50 m<sup>3</sup>/ha sehari atau 1.83 m per tahun. Jadi, diperlukan 400 hektar untuk menampung seluruh muatan.

Penjernihan awal pada stasiun pompa induk terdiri dari penyaringan dan pengeluaran kerikil. Jaringan pipa tekan pada lahan mendapat muatan dari stasiun pompa. Usahatani ini dibagi-bagi menjadi petak-petak persegi panjang berukuran seperempat sampai satu hektar yang dibatasi oleh bendungan tanah setinggi kira-kira satu meter. Masing-masing petak ini dihubungkan dengan pipa distribusi melalui pipa yang diberi kelep. Air yang merembes dikumpulkan pada parit disebelah bawah drainase bawah yang memiliki saluran ke selokan, yang lalu diteruskan ke Sungai Oker. Untuk mengatasi masa-masa di mana tingkat perkolasi rendah, dibangun beberapa waduk infiltrasi, yang juga memiliki drainase bawah, namun tidak untuk digarap.

Petak-petak tanah kecil tadi boleh digarap oleh sejumlah penduduk (hampir semuanya merupakan petani hobi) yang harus membajak tanah dan menanam jenis-jenis tertentu. Mereka juga harus memelihara bendungan-bendungan tanah dan selokan yang membatasi kebun mereka itu. Sebagai imbalannya mereka tidak usah membayar sewa lahan kebun mereka.

Rata-rata enam kali dalam setahun setiap petak tanah mendapat sekitar 0,30 m air limbah. Di musim dingin pemakaiannya lebih tinggi dan di musim panas lebih rendah, tergantung dari jenis pertaniannya. Pendistribusian air limbah ini diselenggarakan oleh pegawai kotapraja yang juga harus memelihara selokan induk, jalan, dan sebagainya.

Dengan adanya pengaturan seperti ini, biaya operasional pengolahan air limbah untuk kota Braunschweig menjadi sangat rendah.

Dengan meningkatnya aliran air limbah, tingkat pemakaian setelah Perang Dunia II meningkat juga, sehingga penggarapan lahan menjadi lebih sulit. Ketika kemudian pendapatan dari penghasilan pokok para penyewa meningkat, mereka tidak mau lagi menggarap lahan limbah ini. Guna memelihara daya serap tanah, maka para pegawai kotapraja yang harus menggarap makin banyak lahan. Celakanya, petak-petak kecil tersebut membutuhkan banyak tenaga manusia. Oleh karena itu, kemudian, sebanyak mungkin bendungan diratakan agar lahan dapat digarap dan dipanen dengan alat mekanis.

Sejak proyek irigasi siram dioperasikan, aliran air limbah pada usahatani limbah berkurang secara drastis. Dewasa ini hanya kurang dari separuh areal yang menerima air limbah. Sisanya sebagian digunakan untuk

pusat penimbunan lahan (*landfill*) sanitasi untuk semua kotoran dari kota Braunschweig dan sebagian lagi digarap tanpa menggunakan air limbah. Sekarang sebagai pengelola lahan yang dipekerjakan kotapraja ialah petani. Enam atau delapan pegawai bertanggung jawab untuk distribusi air limbah, membersihkan selokan, memotong rumput yang tumbuh pada bendungan dan selokan, dan sebagainya, serta empat orang lagi bekerja sebagai buruh tani. Karena masyarakat umum tidak diijinkan memasuki usahatani ini, maka kolam dan selokannya merupakan surga bagi margasatwa, terutama jenis unggas air. Perubahan luar biasa lain ialah ketika kilang pengolahan awal dijalankan yang menghasilkan air limbah yang cukup "jernih". Data analitis terlihat dalam Tabel. 5.1.

Kiranya menarik untuk dicatat bahwa walaupun kualitas air yang dipakai sudah jauh lebih baik, tetapi kualitas cairan limbah hanya meningkat sedikit. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pada pengolahan limbah di tanah, pengaruh, kualitas air limbah yang digunakan terhadap kualitas cairan tidaklah sebesar pengaruh faktor-faktor seperti kesuburan tanah, tingkat pemakaian, dan sebagainya.

#### Irigasi Air Limbah Melalui Pemancaran

Pengalaman usahatani limbah di Braunschweig maupun di kota-kota lainnya menunjukkan bahwa kondisi iklim di Jerman tidak memungkinkan pertanian yang memakai irigasi penggenangan-permukaan. Agar

Tabel 5.1. Kualitas limbah dan cairan limbah yang digunakan untuk pertanian sampah

	Ke lahan Sampai 1979	Cairan th. 1979	Ke lahan Sampai 1980	Cairan th. 1980
BOD (mg/l)	320	15 10	18*	6
COD (mg/l)	600	84	90*	63
TKN (mg/l)	60	22	35	17,8
NO <sub>3</sub> N (mg/l)	0,2	6,3	0,5	6,6
Tot. P (mg/l)	18	5,8	13	5,1
SS (mg/l)	240	38,7	50	22,6

\* sampel yang disaring

dapat menggunakan peralatan mesin pertanian, bidang lahan harus agak luas, dan karenanya tingkat pemakaian juga harus rendah karena pada umumnya keadaan tanahnya tidak rata, sedangkan pengumpulan air pada lubang-lubang harus dicegah. Persyaratan seperti ini hanya dapat dipenuhi dengan sistem penyemprotan air.

Seluruh aspek dari cara penyiraman air limbah pada tanah pertanian akan dibicarakan kemudian dengan menggunakan Braunschweig sebagai contoh.

*Kondisi iklim dan tanah*

Karena irigasi air limbah melalui penyiraman ini dianggap sebagai tindakan pertanian, maka rancangannya harus didasarkan pada neraca curah hujan-evapotranspirasi. Data iklim Braunschweig ialah sebagai berikut:

- 85°C suhu rata-rata per tahun,
- 13,9°C suhu rata-rata selama musim tumbuh (April sampai September),
- 652 mm curah hujan rata-rata per tahun,
- 366 mm curah hujan rata-rata selama musim tumbuh,
- 602 mm evapotranspirasi rata-rata per tahun,
- 488 mm evapotranspirasi rata-rata selama musim tumbuh.

Berdasarkan data-data ini, defisit sebanyak 122 mm diperkirakan akan terjadi selama musim tumbuh, walaupun ada surplus tahunan sebanyak 50 mm.

Areal yang direncanakan untuk irigasi terletak antara Sungai Oker dan Sungai Aue-erse di sebelah barat-laut jalan lintas Hannover-Berlin. Bendungan bahan organik pada lapisan tanah bagian atas kira-kira 1%. Tanah liat berpasir tidak begitu subur. Pori-pori tanah kebanyakan lebih dari 10  $\mu$ m, oleh karena itu tingkat perkolasi agak tinggi. Diperhitungkan hanya 8% dari air tanah yang tersedia untuk tanaman. Muka air tanah terletak antara 1,0 sampai 3,5 m di bawah permukaan. Kemiringan rata-rata dari selatan ke utara sekitar 0,06%. Berdasarkan defisit air sebanyak 122 mm beserta tingginya kesasaran tanah, maka diperkirakan irigasi yang diperlukan sebanyak 150 mm selama musim panas untuk tiga kali pemakaian, masing-masing 50 mm. Perlu dicatat bahwa selama musim panas yang kering sebanyak 40 sampai 50 mm air harus digunakan enam kali atau lebih.

Selain bermanfaat bagi pertanian, proyek ini juga merupakan sistem pengolahan air-limbah, diasumsikan pada musim dingin pun dapat memberikan irigasi sebanyak 150 mm, sehingga jumlahnya 300 mm (6 x 50 mm) per tahun. Lebih jauh lagi diasumsikan bahwa selama 65 hari dalam setahun, irigasi mustahil dilaksanakan, karena cuaca yang terlampau basah atau beku.

*Rancangan dan konstruksi sistem irigasi*

Berdasarkan asumsi di atas (300 mm/th., 300 hari) dan aliran cairan limbah sebanyak 30.000 m<sup>3</sup>/hari, diperhitungkan luas areal irigasi bersih ialah 3.000 hektar (30.10<sup>6</sup>m<sup>2</sup>). Jumlah areal seluruhnya, termasuk pemukiman, jalan-jalan, hutan dan sebagainya seperti yang terlihat dalam Gambar 5.1. sekarang ini ialah 4.300 hektar, 3.000 hektar di antaranya mendapat irigasi.

Karena bentuk arealnya yang persegi panjang dengan panjang 15 km dan lebar 3 sampai 4 km, direncanakan pembangunan empat stasiun pompa yang masing-masing dapat melayani 750 hektar areal irigasi.

Setelah SUA didirikan pada tahun 1954, rancangan akhir segera dimulai dan diikuti dengan pekerjaan konstruksi satu per satu. Pada tahun 1957 irigasi pada areal irigasi pertama mulai bekerja, dan pada tahun 1966 yang keempat serta terakhir selesai dibangun.

Pekerjaan konstruksi secara keseluruhan terdiri dari:

- selokan dalam tanah dari usahatani limbah sampai ke areal irigasi (15,4 km). Sambungan antara stasiun pompa induk dengan usahatani limbah dibangun oleh kotapraja.
- empat buah stasiun pompa dilengkapi tangki-tangki keseimbangan dan pengendap masing-masing sebesar 3.000 m<sup>3</sup>. Kapasitas pompa pada setiap stasiun sekitar 1.300 m<sup>3</sup>.<sup>-1</sup> dengan tekanan maksimum sekitar 8,5 bar.
- 15.000 m<sup>2</sup> bedengan pengering lumpur-limbah kotor pada setiap stasiun pompa.
- bedengan infiltrasi seluas 1,4 x 10<sup>6</sup>m<sup>2</sup> dengan drainase bawah.
- pipa tekanan sub-permukaan sepanjang 110 km (dari semen asbes)
- untuk mendistribusi sampah dengan hidran sub-permukaan (jarak antaranya 90 m).
- pengaturan kembali jalan pertanian dan lapangan untuk mendapatkan panjang lahan yang diinginkan yaitu 300 m atau 600 m.
- drainase bawah dan selokan di areal basah (3 x 10<sup>6</sup>m<sup>2</sup>).



### *Memfaatkan Air Limbah*

pagar sepanjang jalan raya yang berfungsi sebagai pencegah p n-  
caran untuk menghindari erosi angin (panjang seluruhnya 60 km).  
Jika kilang pengolahan awal sedang bekerja, tangki-tangki keseim-  
bangan dan pengendap perlu dilengkapi dengan aerasi untuk  
menahan lumpur dalam suspensi dan untuk menyegarkan kembali  
campuran air limbah yang sudah dibersihkan serta kelebihan  
lumpur. Sebaliknya, pengering lumpur limbah jangan dipakai lagi.

### *Cairan limbah yang digunakan*

Komposisi air limbah sebelum mengalami pengolahan awal ialah sebagai berikut:

BOD <sub>5</sub>	200	mg/l
NH <sub>4</sub> -N	52	mg/l
Total P	17,7	mg/l
Total K	32	mg/l
Na	77	mg/l
Cl	128	mg/l

Konsentrasi metal berat dalam air limbah dan tanah harus selalu berada dalam patokan yang dikeluarkan oleh Pemerintah Federal. Akan tetapi, patokan yang lebih ketat lagi, yang baru-baru ini dikeluarkan untuk lumpur-limbah, dapat menimbulkan masalah dalam hubungannya dengan emisi kadmium, karena beberapa industri metal di Braunschweig belum memiliki pengolahan awal yang memadai. Kotapraja harus bertindak lebih tegas lagi terhadap perusahaan-perusahaan tersebut.

Sejak berdirinya kilang pengolahan awal pada tahun 1980, komposisi bahan organik pada air limbah telah berubah. Bahan-bahan organik yang dapat larut diubah menjadi bahan padat endapan bakteri. Dalam campuran cairan yang telah diolah dengan kelebihan lumpur-limbah, terdapat BOD larut antara 5 sampai 30 mg/l dan bahan padat endapan meningkat dari 200 mg/l sampai 340 mg/l. Kandungan rata-rata per hari dan tingkat pemakaian per tahun adalah sebagai berikut:

	Tiap hari	Per tahun per hektar
Air (m <sup>3</sup> )	42.500	5.170
Bahan padat endapan (kg)	14.600	1.780
Nitrogen total (kg)	2.800	350
Fosfor total (kg)	935	115

### *Pemanfaatan Kembali Air Limbah di Jerman Barat*

Karena aliran meningkat, jumlah pemakaian per tahun menjadi 517 mm. Ini berarti bahwa sekarang diperlukan 10 kali pemakaian masing-masing sebanyak 50 mm, sedangkan rencana semula hanya 6 kali pada 50 mm. Kelemahan utama dari sistem pancar di musim dingin ialah, karena kurangnya penguapan, infiltrasi meningkat, sehingga ditemukan konsen-trasi nitrat yang melonjak pada air tanah.

### *Pengaturan dan pengelolaan*

Dewasa ini terdapat 445 anggota SUA yang terdiri dari kotapraja Braunschweig dan tiga masyarakat kecil sebagai produsen limbah cair dan 440 orang petani yang lahannya mendapat irigasi air limbah. "Dewan Pelaksana" terdiri dari tiga petani dan dua orang wakil kotapraja. Ketua Dewan adalah salah seorang petani.

Setelah SUA didirikan, segera dibentuk administrasinya yang pada mu-lanya bertugas mengkoordinasi berbagai pekerjaan konstruksi dan mem-beli peralatan. Pengelolanya seorang ahli teknik pertanian; sekarang ia dibantu oleh tujuh orang staf (asisten teknik, pembukuan dan sekretaris). Ketika irigasi mulai beroperasi, bengkel untuk pemeliharaan dan perbaikan dibangun dan tenaga operasional dipekerjakan. Perlu dicatat bahwa irigasi sepenuhnya ditangani oleh SUA, sehingga para petani tidak usah repot menangani irigasi.

Pengelola dengan asisten irigasi bertugas mengatur jadwal umum irigasi yang dipersiapkan setiap tahun pada musim dingin bersamaan dengan rencana penggarapan lahan petani. Tergantung dari kondisi iklim dan pertumbuhan yang diperlukan tanaman, jadwal umum harus disesuaikan lagi setiap minggu oleh asisten irigasi. Ia menyerahkan jadwal ini kepada empat supervisor irigasi yang masing-masing bertanggung jawab atas sebuah areal irigasi. Proses irigasi akan diuraikan kemudian.

Selain melaksanakan tugas irigasi dan memelihara instalasi, SUA juga memelihara selokan dan pagar irigasi. SUA merencanakan dan mem-bangun sebagian drainase bawah di areal yang memiliki permukaan air tanah yang agak tinggi. SUA juga menjalankan pabrik pengering di mana kentang, biji padi-padian dan sebagainya dikeringkan serta membuat pellet untuk makanan ternak dari rumput yang tumbuh sesudah tanaman dipanen.

### *Irigasi pancar*

Satu-satunya sistem penyiraman yang terbukti berhasil dalam irigasi

limbah cair ketika SUA didirikan ialah sistem pompa portabel yang dipasangkan alat siram berputar. Pipa-pipa ini terbuat dari baja lapis seng dan mempunyai diameter 89 mm serta panjang masing-masing 6 m.

Pertimbangan ekonomi menyimpulkan bahwa pipa yang panjangnya 300 m akan lebih menguntungkan. Pekerjaan memindahkan pipa dilakukan oleh dua pekerja dengan traktor khusus yang dilengkapi dengan rak-rak pembawa pipa. Traktor ini memiliki rasio roda-gigi yang sangat rendah serta setir luar, sehingga tidak diperlukan pengemudi. Sementara traktor berjalan, dua pekerja tadi mengambil pipa lalu meletakkannya di posisinya dan menutup kopelingsnya. Jika setelah penyemprotan hanya pipa saja yang harus dipindahkan ke lahan sebelahnya, tiga buah pipa dapat tetap tinggal tersambung ketika diangkut oleh dua pekerja. Delapan traktor dan 16 pekerja (dua traktor ditambah empat pekerja untuk setiap areal irigasi) diperlukan untuk tugas tersebut setiap tahun).

Tekanan pompa pada umumnya 6,5 bar dan *headloss* dalam jaringan distribusi berjumlah 3,0 bar, jadi tekanan siraman ialah 3,5 bar. Alat siram dengan mulut pipa (*nozzle*) berdiameter 10 mm menyembrotkan 7 m<sup>3</sup> air per jam di atas areal seluas 900 m<sup>2</sup> (diameter lingkaran sekitar 33 m). Supaya luas areal yang tidak mendapat irigasi sekecil mungkin, maka jarak antara alat harus diusahakan sejauh 30 m, dan lebar areal yang akan diirigasi diperkirakan 30 m. Dengan kecepatan alir 7 m<sup>3</sup>/j. pada 900 m<sup>2</sup>, lama irigasi untuk pemakaian ialah 6,5 jam. Setiap saluran irigasi beroperasi sekali sehari. Agar dapat menyembrotkan 32.000 m<sup>3</sup>/hari, sekitar 75 saluran dengan panjang rata-rata 270 m harus dioperasikan setiap hari selama 6,5 jam dan semuanya harus dipindahkan oleh delapan kelompok dengan satu traktor ditambah dua pekerja. Oleh karena itu, setiap kelompok harus memindahkan 2.500 sampai 3.000 m pipa-pipa setiap hari atau 400 sampai 500 pipa. Areal seluas 60 hektar harus diirigasikan setiap hari.

Semakin langkanya tenaga kerja untuk pekerjaan keras dan kotor seperti ini, ditambah lagi dengan semakin cepatnya kenaikan upah, memaksa SUA untuk mencari alternatif lain dari sistem alat siram. Sistem pivot seperti yang digunakan di Amerika Serikat membutuhkan lahan rata yang lebih luas, selain itu mulut pipa yang kecil kurang tepat untuk menyembrotkan air limbah yang diolah secara mekanis.

Pilihan terakhir ialah mesin irigasi dari jenis pipa-melingkari-drum. Pipa polyethylin dengan panjang 300 m dan diameter bagian dalam 50 sampai 100 mm dilingkarkan pada sebuah drum yang ditempatkan pada gerobak beroda dua. Ujung salah satu pipa disambungkan ke alat penyiram yang diletakkan di atas gerobak kecil beroda dua. Mesin ini diletakkan di

pinggir lahan. Lalu sebuah traktor dengan kekuatan 100 PK menarik gerobak alat penyiram dan pipa ini sepanjang lahan. Ujung pipa yang lainnya dipasang ke drum dan disambungkan dengan sebuah pipa baja yang menembus drum melalui porosnya. Aliran air masuk mendorong turbin yang lalu memutar drum. Dalam waktu 20 sampai 22 jam, pipa sepanjang 300 m dapat ditarik ke dalam. Ketika ditarik, alat penyiram menyinggung katup aliran keluar, lalu pengemudi traktor menarik gerobak alat penyiram, dan menyambungkan mesin ke traktor serta memindahkannya ke areal lainnya.

Alat penyiram di sini disebut jenis "raksasa" dengan diameter mulut pipa 20 mm. Jika tekanan pada alat penyiram sekitar 4 bar, keluarannya adalah 40 m<sup>3</sup>/jam, dengan lebar 60 m. Batang alat penyiram berayun dari depan ke belakang pada sektor 240°; sektor 120° pada arah gerakan dibiarkan terbuka.

Untuk memberikan 50 mm irigasi pada petak dengan panjang 270 m dan lebar 60 m, satu mesin memerlukan waktu 20 jam.

Sebagai perbandingan dengan sistem pipa portabel: untuk pemakaian 32.000 m<sup>3</sup>/hari dalam periode 20 jam diperlukan 40 mesin. Oleh karena itu satu traktor yang dikemudikan oleh seorang supir, secara teori dapat menyelesaikan tugas yang dilakukan oleh 16 pekerja pada sistem pipa portabel.

Pada tahun 1975 areal irigasi yang pertama sampai areal terakhir dilengkapi dengan mesin-mesin ini. Karena aliran air limbah meningkat (rata-rata 42.500 m<sup>3</sup>/hari dan 60.000 m<sup>3</sup>/hari pada hari-hari puncak di musim panas dengan ditambah air tanah) dan pelaksanaannya agak lebih sedikit daripada rencana, maka SUA sekarang ini memiliki 100 mesin. Rata-rata 8 traktor berat setahun dengan masing-masing satu pengemudi dipakai untuk pekerjaan memindahkan ini.

Kelemahan dari alat penyiram raksasa dengan semprotan deras ini ialah penggunaannya terbatas hanya pada tanah datar serta pada tanah dan tanaman yang tidak mudah rusak.

Langkah pertama untuk mengatasi kelemahan ini ialah dengan mengurangi tiga sampai lima alat penyiram pada tiap mesin.

### **Perkembangan Produksi Pertanian**

Air limbah untuk tujuan pertanian ini mempunyai nilai ganda, sebagai air dan juga pupuk. Biaya pupuk sekarang ini melangit, sedangkan air tanah semakin berkurang. Secara teori petani sebenarnya hanya perlu

### *Memfaatkan Air Limbah*

memberi kalium dan kapur saja, namun karena tanaman pada masa tumbuh tertentu memerlukan nitrogen, maka petani juga harus menambahkan sedikit nitrogen.

Sulit untuk memperoleh data yang tepat mengenai peningkatan dalam produksi pertanian, karena dewasa ini tanah, seperti milik SUA, diairi dengan air tanah atau air sungai dan diberi pupuk dalam jumlah yang cukup banyak.

Dalam areal SUA ditemukan hasil berikut:

	1960	1979	
sereal musim dingin	2-6	6-16	100 kg/ha
sereal musim panas	6-10	6-20	100 kg/ha
bit gula	60-200	100-240	100 kg/ha
kentang	50-150	50-200	100 kg/ha

Yang paling penting bagi petani SUA ialah tarif irigasi yang tidak berubah sejak tahun 1957, petani hanya harus membayar 120 DM per hektar setahun. Tarif yang rendah ini dapat menutup kerugian irigasi yang dialami dalam bulan-bulan musim dingin.

### **Kcschatan**

Pengolahan air limbah biasa belum berhasil menghilangkan kuman dan telur cacing secara total. Bahaya penularan yang ditimbulkan oleh kuman beracun dalam air limbah yang sudah dibersihkan, tidak dapat dihindari seluruhnya, tetapi harus diusahakan agar bahaya tersebut dapat ditekan serendah mungkin. Penelitian pada areal di mana limbah cair diolah tanah membuktikan bahwa lingkungan tanah lebih baik bagi pembuangan air limbah daripada lingkungan air. Kelebihannya yang utama ialah regenerasi secara teratur dari tanah tempat pembuangan air limbah, terutama bila tanahnya terus-menerus digarap dan digunakan untuk pertanian. Jadi, di sini tidak terjadi pengembangan konsentrasi kuman dan telur cacing secara lambat-laun. Pemakaian cairan limbah dan usahatani yang diatur dengan teliti dapat mengurangi risiko penularan pada tanaman dan manusia pada tingkat serendah mungkin, sehingga masih dapat diterima secara medis. Untuk mencegah adanya risiko penularan, alat penyiram harus ditempatkan sekurang-kurangnya 50 m dari jalan raya dan 100 m dari perumahan penduduk. Pagar sebagai penghalang angin dengan lebar 3 sampai 10 m ditempatkan sepanjang jalan untuk melindungi penduduk

### *Pemanfaatan Kembali Air Limbah di Jerman Barat*

dari semprotan air limbah ketika kondisi angin buruk.

Antara penyiraman terakhir dengan panen harus ada jarak waktu minimum tiga minggu. Jarak waktu ini dianggap cukup untuk menghindari penularan. Selama bertahun-tahun diadakan irigasi air limbah, belum pernah dilaporkan adanya kasus penularan. Ini menunjukkan bahwa langkah pengamanan telah memadai.

### **Aspek Keuangan**

Biaya investasi untuk sistem irigasi seperti yang semula disusun seluruhnya sekitar 30 juta DM, 95% berupa bantuan Pemerintah Negara Bagian dan Pemerintah Federal. Investasi baru sebanyak 5 juta DM yang ditanam antara tahun 1974 dan 1978 digunakan untuk mengadakan 100 mesin irigasi. Biaya kilang pengolahan awal adalah 18 juta DM 5,8 juta di antaranya merupakan bantuan.

Pengeluaran per tahun pada tahun 1981 adalah sebagai berikut:

#### **Kilang pengolahan awal:**

Total	2.700.000 DM
Listrik	795.000 DM
Pegawai	385.000 DM
Bunga dan angsuran	1.300.000 DM

#### **Usahatani limbah:**

Total	1.000.000 DM
Listrik	35.000 DM
Pegawai	560.000 DM

#### **Sistem irigasi:**

Total	4.500.000 DM
Listrik	890.000 DM
Pegawai	1.300.000 DM
Bunga dan angsuran	800.000 DM

### **Kesimpulan**

Pengolahan air limbah di tanah telah diterapkan oleh Kotapraja Braunschweig sejak tahun 1896, ketika suatu usahatani sampah dengan luas areal 400 hektar mulai dioperasikan pada tanah berpasir. Sekitar tahun 1920 lahan ini tidak lagi dapat menampung seluruh aliran air limbah. Tahun 1954 didirikan "Braunschweig Sewage Utilization Association" untuk menunjang

irigasi penyiraman air limbah kota Braunschweig (30.000 m<sup>3</sup>/hari) pada lahan pertanian seluas 3.000 hektar milik 450 orang petani. Irigasi dimulai tahun 1957 dengan menggunakan sistem irigasi penyiram yang pipanya dapat dipindah-pindah. Karena tingginya biaya tenaga kerja untuk memindahkan pipa, sistem ini diganti pada tahun 1975. Penyiraman baru yang otomatis (pipa dibelitkan pada drum) dibeli. Masalah mengenai penyiraman air limbah yang telah dibersihkan secara kasar (risiko berbau dan kurang sehat) telah dapat diatasi dengan membangun kilang pengolahan awal biologis dan pagar. Jarak tertentu untuk pengamanan dari jalan dan perumahan harus dipertahankan, tergantung dari arah angin. Irigasi air limbah pada tanah berpasir gembur di Braunschweig membuat pertanian pada areal tersebut secara ekonomis cukup menguntungkan dan dalam Sungai Oker praktis tidak terjadi pencemaran yang ditimbulkan oleh buangan air limbah yang berasal dari sekitar 250.000 penduduk.

#### Kepustakaan

1. Kayser, R. 1979. "Biological pretreatment and irrigation of effluent and excess sludge as an integrated system," Canadian-German Workshop, 3-5 Oktober, Burlington, Ontario, Canada.
2. Ewert, H., C. Tietjen, A. Bramm. 1973. "Braunschweig Sewage Utilization Association: Municipal sewage disposal by sprinkler irrigation on 10,000 acres," International Conference on "Land for Waste Management", Ottawa, Canada, Oktober.
3. Ewert, H. *et.al.* 1979. International Symposium, Problems of Wastewater Land Treatment, Management, Ecology and Health Considerations. Braunschweig, Germany, 27-28 Sept.
4. Scharff, E. 1980. "Erfahrungen mit der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung in Braunschweig," *Wasser und Boden*, hlm. 22-26.

## Bab VI

### PEMANFAATAN KEMBALI LIMBAH PEMUKIMAN UNTUK TUJUAN PERTANIAN: PEMECAHAN MASALAH EKONOMI-AIR DI WILAYAH KERING\*

*Klaus W. Bucksteeg*

Pemanfaatan kembali limbah pemukiman dalam pertanian harus dipandang sebagai langkah ketiga dalam neraca air suatu masyarakat.

Sebelumnya harus dipenuhi dua persyaratan terlebih dahulu, yaitu:

1. Kebutuhan masyarakat akan sistem pengadaan air secara sentral,
2. Kebutuhan masyarakat akan sistem pengumpulan sampah.

Jika pengadaan air tidak diatur dari sentral, maka konsumsi air dan, tentunya juga, kadar kecepatan pembuangan sampah, akan menjadi sedemikian kecilnya, sehingga jaringan buangan/selokan tidak bisa berjalan baik. Lambatnya aliran limbah akan mengakibatkan terhambatnya pipa-pipa selokan karena bahan-bahan padat tidak dapat dialirkan. Akibatnya tentu saja tidak akan ada lagi cairan yang dapat dimanfaatkan. Sekali lagi, jika ada sistem pengadaan air tapi tanpa jaringan limbah, maka pemanfaatan kembali limbah tidak mungkin dilakukan, karena limbah sampah ini tidak dikumpulkan serta tidak dapat diangkut untuk diolah.

Dalam rangka ini perlu kiranya diperhatikan bahwa jaringan limbah lebih merupakan bagian dari prasarana perkotaan dibandingkan dengan prasarana pedesaan.

\* Diterjemahkan dari Klaus W. Bucksteeg, "Reuse of Municipal Sewage for Agricultural Purpose: A Solution to Water Economy Problem in Arid Zones."

### Kuantitas dan Kualitas Limbah

#### Kualitas

Produksi rata-rata limbah pemukiman sebenarnya tidak melebihi 30-200 liter/orang/hari, tergantung dari standar hidup masing-masing; 100 l/orang/hari sudah merupakan angka yang tinggi, yaitu bagi rumah tangga yang dilengkapi dengan mesin cuci baju dan piring otomatis. Kecepatan aliran akan mencapai 200-300 l/orang/hari pada saat air-tanah dan air limbah memasuki pipa selokan. Tetapi angka setinggi ini tidak akan ditemukan di wilayah kering.

#### Kandungan organik dan hara

Bahan-bahan yang terdapat dalam limbah rumah tangga berikut ini memegang peranan penting untuk kegunaan pertanian (Tabel 6.1.).

Tabel 6.1

	Bahan Organik	Nitrogen N	Fosfor P	Kalium K
Libah kotor (dengan deterjen)	45-60	7-13	1-2 (3-5)	3-6 (g/orang. hr)
Limbah yang diolah secara mekanis (dengan deterjen)	30-40	6-12	0,7-1,5 (2,7-4,5)	3-6 (g/orang. hr)
Limbah diolah secara biologis (dengan deterjen)	10	5-9	0,5-1,0 (2-3,5)	2,7-5,5 (g/orang. hr)

#### Organisme patogen

Telah diketahui bahwa sebagian dari penduduk, sekitar 1-2 persen, membawa bermacam-macam penyakit. Individu yang tertular mengeluarkan kotoran yang mengandung organisme patogen. Oleh karena itu limbah rumah tangga selalu mengandung patogen. Tabel 6.2. menunjukkan survei organisme parasitis dalam limbah kotor.

Tabel 6.2. Jumlah organisme/ liter limbah kotor (menurut Arceivala)

Total bakteri	$10^{10}$ - $10^{12}$
Koliform	$10^8$ - $10^{10}$
Faecal streptokus	$10^6$ - $10^7$
Salmonella typhosa	$10^2$ - $10^5$
Protozoa	$10^2$ - $10^4$
Telur helmintik	$10^2$ - $10^4$
Virus	$10^3$ - $10^5$

Tabel 6.3. Kehadiran metal beraat dalam arus limbah yang berasal dari sejumlah industri tertentu. (menurut laporan EURO dan Studies 42)

Jenis Industri	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg/Sc	Zn	Cianida
Tambang	x	x	x	x	x	x	x	x
Cat dan Pewarna	x	x		x	x	x		x
Pestisida			x	x	x		x	x
Listrik dan Elektro-nika				x	x	x		x
Percetakan dan Penggandaan	x		x	x		x		
Elektroplating dan metal-finishing (plating)	x	x					x	x
Pabrik kimia	x			x		x		
Peledak			x	x		x		
Karet dan plastik				x	x		x	x
Baterai		x		x			x	
Farmasi			x		x			
Tekstil	x	x						
Minyak dan batu-bara			x	x				
Kertas dan pulp						x		
Kulit		x						

Lebih dari 100 jenis virus telah diketahui ikut dikeluarkan bersama tinja manusia. Lebih dari sejuta partikel virus menular ikut keluar dalam setiap gram tinja dari orang yang terjangkit, juga meskipun mereka tidak kelihatan sakit. Virus merupakan penyebab meningitis, hepatitis, poliomyelitis, cardiac anomalis, gastroenteritis, diare dan penyakit-penyakit mata dan



kulit yang menular.

Bakteri dapat menimbulkan penyakit-penyakit seperti demam, tifus, kolera dan TBC.

Sejumlah besar *protozoa parasitis* dan *helminis* dapat ditemukan dalam limbah, terutama di negara-negara tropis dan berkembang. Parasit menyebar dalam bentuk *riasis*, *triahiniriasis* dan cacing gelang.

#### Metal berat

Juga pada masyarakat yang tidak memiliki industri apa pun, kandungan metal berat yang tinggi dapat ditemukan dalam limbahnya. Misalnya, sering ditemukan seng yang berasal dari hancuran pipa baja jaringan air, dan dari perkakas serta alat rumah tangga.

Seringkali ada pabrik-pabrik kecil yang mengolah bahan dari kulit, tekstil atau metal. Mereka ini sering mengakibatkan peningkatan tiba-tiba pada kandungan metal berat atau sianida karena kegiatannya yang luar biasa. Tabel 6.3. menunjukkan survei metal berat yang berasal dari berbagai industri

Tabel 6. 4. Batas kandungan metal berat/tahun untuk lahan pertanian.

	Menurut patokan Jerman g/ha. thn.	Menurut patokan Swiss g/ha. thn.
Seng (Zn)	5.000	7.500
Tembaga (Cu)	2000	2.500
Khrom (Cr)	2000	2.500
Timah (Pb)	2000	2.500
Nikel (Ni)	330	500
Kadmium (Cd)	33	75
Air Raksa (Hg)	42	25

Ada juga bahan-bahan organik yang cukup alot yang dibuang oleh industri-industri ini.

Tingginya kandungan metal berat dapat menimbulkan zat racun, baik dalam tanah maupun pada tanaman, seperti juga dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Sebagai patokan kadar kandungan metal berat yang diperbolehkan dalam pembuangan limbah pada tanah pertanian dapat dipakai patokan standar yang berlaku di Jerman dan Swis.

Apabila limbah tidak dibuang pada lahan yang sama dengan yang mendapat irigasi, batas konsentrasi metal dalam air irigasi dapat dihitung dari kecepatan irigasi. Tabel 6.5. menunjukkan angka-angka untuk kecepatan irigasi 1.000 m/tahun pada lahan 10.000 m<sup>3</sup>/ha/tahun.

Tabel 6.5. Batas konsentrasi metal berat yang diizinkan dalam pengolahan cairan limbah pabrik pada kecepatan irigasi 1.000 mm/tahun

	Menurut patokan Jerman mg/liter	Menurut patokan Swiss mg/liter
Seng (Zn)	0,5	0,75
Tembaga (Cu)	0,2	0,25
Khrom (Cr)	0,2	0,25
Timah (Pb)	0,2	0,25
Nikel (Ni)	0,033	0,05
Kadmium (Cd)	0,0033	0,0075
Air Raksa (Hg)	0,0042	0,0025

#### Pengolahan Limbah

##### Persyaratan umum

Limbah pemukiman yang akan dimanfaatkan kembali untuk tujuan pertanian harus dibersihkan menurut persyaratan berikut:

1. Semua bahan padat yang mengendap dan yang terapung harus dipisahkan dari arus buangan. (Pembersihan secara biologis untuk menghasilkan cairan dengan konsentrasi BOD, yang rendah tidak begitu diperlukan).
2. Harus dilakukan perbaikan yang efektif terhadap kualitas bakteri. (Namun perlu diingat, bahwa tidak ada teknik pengolahan manapun yang dapat membuat limbah aman menurut kesehatan).
3. Kilang-kilang penjernihan limbah harus dirancang dan dioperasikan sedemikian rupa, sehingga kadar logam berat yang tidak terlampau banyak yang terjadi sewaktu-waktu tidak terlalu mempengaruhi jalannya proses pengolahan. (Harus diupayakan agar metal-metal berat sudah dipisahkan dari arus limbah industri oleh pihak pabrik sebelum memasuki arus limbah umum).
4. Rancangan dan konstruksi kilang pembersihan sampah sekarang ini masih mengikuti gagasan Imhoff, seorang ahli teknik kesehatan masya-

rakat yang terkenal di dunia, yang dicetuskannya puluhan tahun yang lalu: "semakin sedikit, semakin sederhana, semakin baik". (Teknik pengolahan yang sangat canggih dan full-otomatis memerlukan seorang ahli untuk memperbaiki kerusakan mesin yang mungkin terjadi. Dan hal ini mungkin tidak tersedia dengan segera; setelah mengalami kerusakan biasanya efisiensi kilang canggih menjadi lebih rendah daripada kilang dengan konstruksi sederhana).

5. Diperlukan ruang penyimpanan yang bervolume besar, karena besar arus limbah tidak sesuai dengan kebutuhan air untuk irigasi. (Jalan pemecahan untuk ini ialah menggabungkan fungsi pembersihan limbah dengan penyimpanannya)  
Persyaratan di atas dapat dipenuhi secara paling ekonomis oleh kilang-kilang yang mempergunakan sistem kolam.

#### *Kelebihan dan kekurangan sistem kolam*

Dalam sistem kolam yang melibatkan ialah proses-proses mekanis, biologi dan biokimia. Sedimentasi dan flokulasi memainkan peranan penting dalam memisahkan bahan padat yang mengendap serta bahan koloid. Larutan senyawa organik digunakan oleh komunitas bakteri, ganggang, jamur dan protozoa untuk metabolisme. Jasad-jasad renik ini bersama-sama dengan "waktu" dan "radiasi ultra violet alami" dapat melawan patogen. Sebagian dari metal berat terikat dalam lumpur limbah, sedangkan sisanya yang larut dalam limbah mempunyai konsentrasi metal yang rendah.

Kelebihan sistem kolam ialah:

- penurunan yang tinggi pada kandungan organik
- penurunan yang sangat tinggi pada patogen
- penurunan yang sedang pada metal berat
- kapasitas ekualisasi yang sangat tinggi sekali terjadi pada semua bahan yang mengalami kenaikan secara tiba-tiba
- kapasitas penyimpanan yang besar
- konstruksinya sangat sederhana
- biaya konstruksi yang rendah
- tanpa peralatan
- tidak ada masalah mesin dalam pengoperasian kilang
- tanpa biaya energi
- sedikit pemeliharaan
- biaya operasi rendah

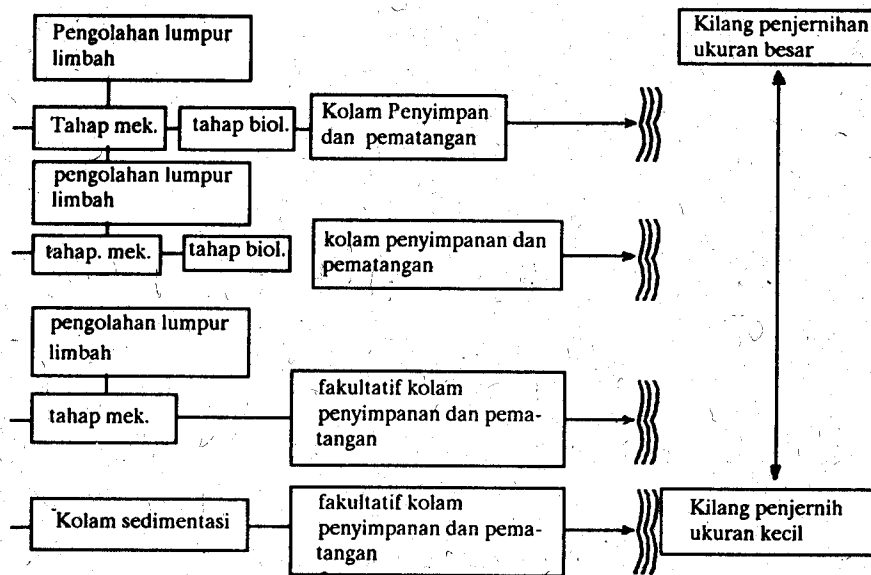
Sebaliknya beberapa kelemahan sistem kolam harus dipertimbangkan juga:

- memerlukan area yang cukup luas
- kadang-kadang mengeluarkan bau yang tidak sedap
- kadang-kadang ganggang tumbuh dengan rapat
- permukaan yang luas dapat mengakibatkan kehilangan banyak air karena penguapan

Akan tetapi kelebihanannya dapat mengatasi kekurangannya. Se jauh ini belum ada unit-unit teknik yang dapat memadukan semua kelebihan dari sistem kolam. Ini tidak berarti ketinggalan zaman, tapi sistem kolam mempunyai metode yang sangat baik dalam memadukan pengolahan limbah sekaligus dengan penyimpanannya untuk digunakan dalam pertanian.

#### *Pemilihan sistem pembersihan*

Pada umumnya kilang-kilang besar untuk pengolahan limbah merupakan kilang mekanis-biologi biasa yang dilengkapi dengan unit-unit pengaktifan lumpur atau *trickling filter* pada tahap biologi. Jika limbah yang dimurnikan akan digunakan untuk tujuan pertanian, maka setelah sedimentasi harus diadakan sarana penyimpanan (seperti yang telah disarankan: sebuah kolam). Kolam penyimpanan ini (dengan jangka waktu penyimpanan beberapa hari) juga dapat bertindak sebagai unit pematangan atau penyempurnaan. Semakin lama waktunya dalam kolam, semakin tinggi aliran limbah dapat berada di tahapan biologi sebelumnya. Tahapan biologi barangkali tidak begitu perlu, jika waktu penyimpanan dalam kolam mencapai beberapa minggu. *Kilang penjernihan limbah umum* yang ukurannya kecil dapat terdiri dari 2 atau 3 kolam dalam satu rangkaian tanpa teknik sedimentasi primer -- serta unit-unit pengolahan lumpur yang terpisah-pisah. Kilang penjernihan ukuran besar diperuntukkan melayani 50.000 penduduk ke atas, sedangkan kilang kecil melayani di bawah 5.000 orang. Kilang besar yang melayani 50.000 orang dapat dibangun seperti sistem kolam, sebaliknya, kilang yang melayani kurang dari 50.000 orang bisa mempunyai unit teknik sedimentasi primer. Rancangan sebenarnya akan tergantung dari kondisi setempat. Rancangan dan konstruksi berbagai macam kolam dikemukakan dalam artikel lain (9).



Gambar 6.1 Sistem pengolahan dan penyimpanan untuk limbah pemukiman yang dimanfaatkan kembali dalam pertanian

### Irigasi dengan Limbah

#### Aspek umum

Harus ditekankan di sini bahwa limbah yang diolah dalam kolam memiliki kualitas bakteri yang jauh lebih baik daripada cairan yang berasal dari kilang pengolah biologis biasa, walaupun hasil cairan dari kolam masih mengandung patogen. Bahkan meskipun cairan "disinfeksi" dengan klor selama 30-120 menit masih belum dapat membunuh semua virus dan parasit. Karena koliform tidak begitu kebal, maka hilangnya koliform dari air limbah yang telah diolah belum berarti virus dan parasit juga hilang. Dengan demikian pengujian bakteri secara rutin hanya dapat memberikan jaminan pragmatis, yaitu kontaminasi serius oleh virus dan organisme parasit lainnya kemungkinan tidak ada.

Perlu dicatat bahwa ada beberapa organisme patogen yang dapat terus bertahan untuk waktu lama. Oleh karena itu cairan kolam (meskipun

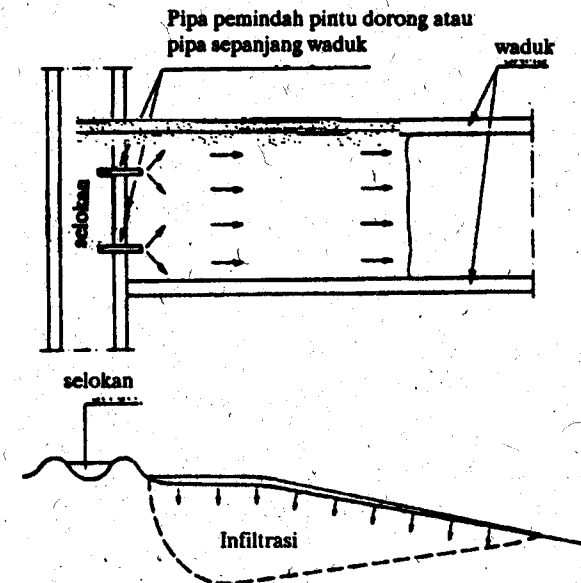
sudah diolah secara biasa dan dengan klor) jangan digunakan untuk mengairi tanaman yang nantinya akan masuk dapur dalam kondisi mentah biarpun sayuran ini kemudian akan dimasak, karena risiko kontaminasi silang masih ada. Cairan hasil kolam lebih cocok untuk irigasi penyiraman bagi tanaman makanan ternak, kapas dan bibit tanaman; atau juga untuk irigasi permukaan pada kebun buah-buahan dan anggur dengan syarat-syarat tertentu. Ada empat metode umum irigasi yang dikenal yaitu irigasi permukaan, irigasi sub-permukaan, irigasi penyiraman dan irigasi *trickle*.

#### Irigasi permukaan

Metode irigasi ini telah diterapkan sejak ribuan tahun yang lalu. Ada banyak variasi setempat yang berlandaskan pada tiga metode dasar.

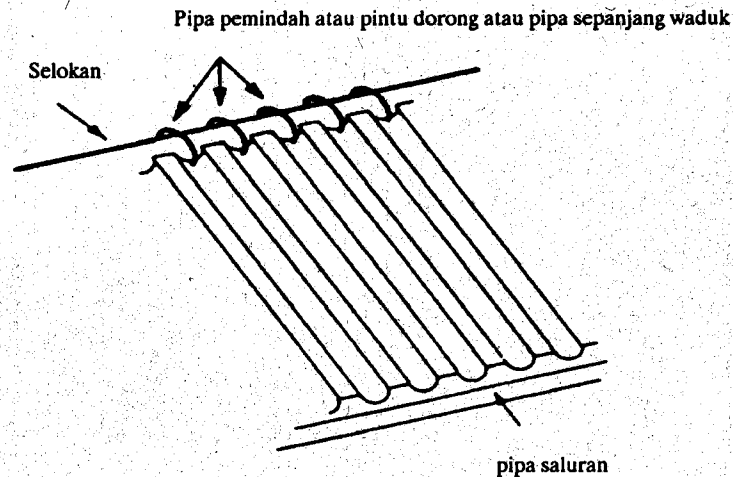
*Irigasi pematang (border)* ialah pengairan penggenangan di mana lahan dibagi dalam petak-petak oleh dam-dam kecil, dan air dialirkan pada setiap petak lahan dari saluran induk atau pipa yang letaknya di ujung sebelah atas, seperti tampak pada Gambar 6.2.

*Irigasi alur* menggunakan saluran-saluran sempit yang dihasilkan oleh alat penggarap tanah di antara barisan tanaman. Air dialirkan pada setiap



Gambar 6.2. Skema Irigasi batas

### Memfaatkan Air Limbah



Gambar 6. 3. Skema irigasi alur

alur dari saluran induk atau pipa yang terletak di ujung sebelah atas (lihat Gambar 6.3.); pengadaaan air untuk tanaman ditunjukkan dalam Gambar 6.4.

Dibandingkan dengan metode-metode lain dalam irigasi permukaan, kerugian yang timbul dari penguapan di sini kecil, dan risiko penggenangan tanah juga rendah, namun masalah erosi dapat terjadi, terutama jika kemiringan lahan melebihi 5 persen.

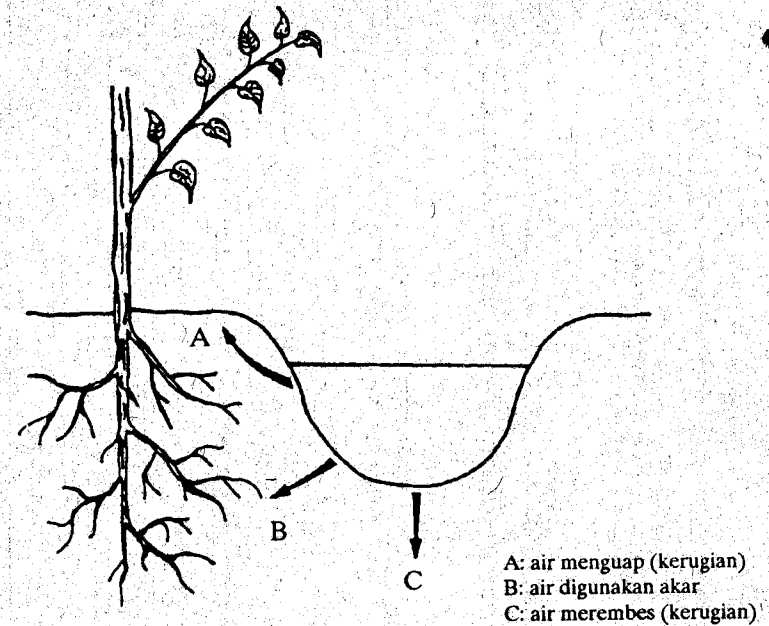
*Irigasi metode waduk* adalah metode untuk mengairi, misalnya kebun buah-buahan di mana setiap pohon atau kelompok pohon dikelilingi oleh waduk pembatas yang membentuk semacam waduk kecil jika air dialirkan. Air mengalir langsung dari saluran induk atau dari pipa ke dalam waduk atau rangkaian waduk (lihat Gambar 6.5.).

Semua metode irigasi permukaan ini dapat diterapkan pada irigasi yang memanfaatkan air limbah.

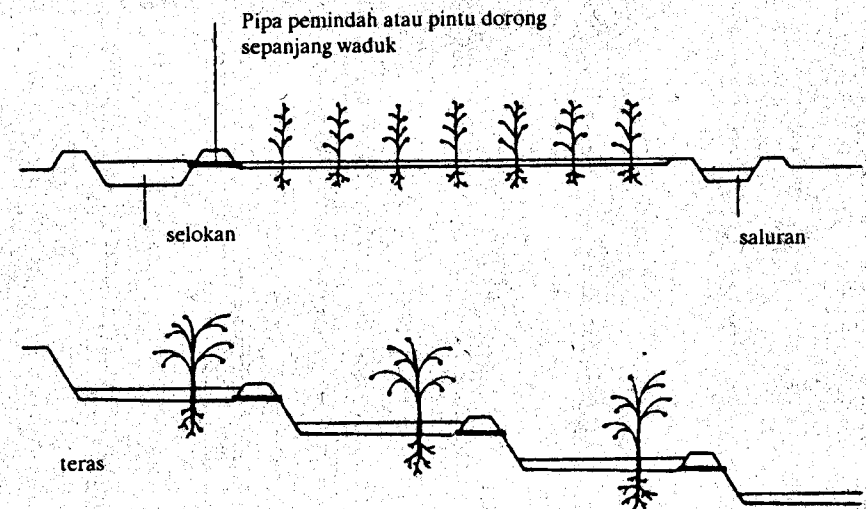
#### Irigasi sub-permukaan

Metode irigasi ini hanya dapat diterapkan pada kondisi tanah tertentu: tanah datar, tanah yang mudah tembus dan mendatar, lapisan kedap air dengan kedalaman antara 2-7 m. Metode ini dapat mengakibatkan salinisasi tanah pada daerah beriklim kering serta kurang cocok untuk irigasi

### Pemanfaatan Kembali Limbah Pemukiman di Wilayah Kering



Gambar 6.4. Irigasi alur



Gambar 6. 5. Skema irigasi dengan metode waduk

dengan limbah, karena ganggang dapat memampatkan dinding saluran.

#### Irigasi penyiram

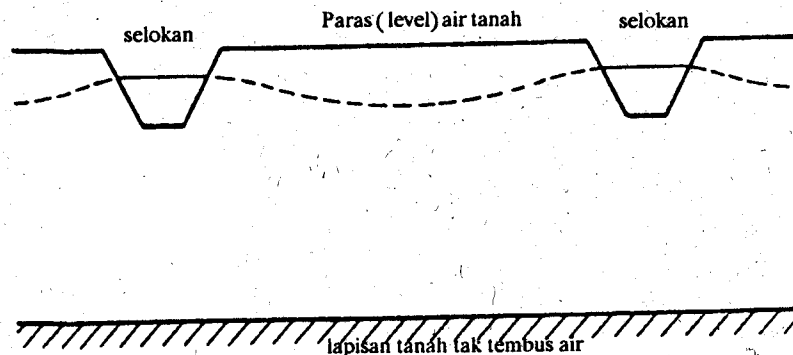
Iniilah suatu metode di mana air dengan tekanan yang cukup disemprotkan ke seluruh lahan melalui pipa semprot atau penyiram. Suatu kilang irigasi terdiri dari:

- sumber air ( di sini misalnya kolam limbah),
- stasiun pompa yang diikuti oleh pipa tekanan induk menuju lahan yang akan diberi irigasi, dan
- alat siram menyamping dengan pipa semprot. Sistem penyiram dibagi menurut tipe sistem pengangkutan airnya serta tipe alat penyalurannya.

#### Sistem pengangkutan

Semua saluran pipa distribusi dibangun secara permanen. Biasanya pipa-pipa ini ditanam dalam parit sebagai sarana angkutan sekaligus juga untuk melindungi pipa. Biaya awal sistem permanen ini memang tinggi, namun biaya operasionalnya rendah. Sistem ini terutama cocok untuk mengairi tanaman tahunan dan kebun buah-buahan.

Pada sistem setengah permanen, pipa induk dan sekunder biasanya dibangun secara permanen dan ditanam dalam tanah. Pipa tersier yang terlepas (portabel) digantungkan pada tangga yang dilengkapi dengan kelep yang merupakan bagian dari pipa induk atau sekunder. Sistem setengah permanen sering dijumpai pada pertanian dengan irigasi yang intensif.



Gambar 6. 6. Skema irigasi sub-permukaan

Pipa tersier lepas terdiri dari besi lapis seng, alumunium atau plastik. Pipa besi lapis seng dengan kopeling cepat sering digunakan. Biasanya diameter yang ada ialah 50/70/89/108/133/159/216 mm dan panjangnya antara 1,0-6,0 m. Semua jenis perkakasnya tersedia.

Dalam sistem full-portabel diperlukan pompa yang dinaikkan ke atas kereta gandeng yang dapat mencapai sumber air pada beberapa tempat. Sistem full-portabel ini membutuhkan biaya awal yang terendah namun biaya operasionalnya tinggi, karena semua pipa harus dipindahkan dan memompa dengan pompa portabel yang bertenaga disel lebih mahal daripada pompa listrik atau pompa disel permanen. Pengoperasian sistem ini fleksibel dan paling baik jika, misalnya, hanya digunakan untuk satu atau dua irigasi saja dalam setahun. Sistem ini paling baik jika jumlah limbah penduduk yang akan diolah hanya sedikit dan akan disimpan dalam berbagai kolam disekitarnya. Satu set peralatan saja akan dapat mencukupi kebutuhan beberapa kelompok masyarakat.

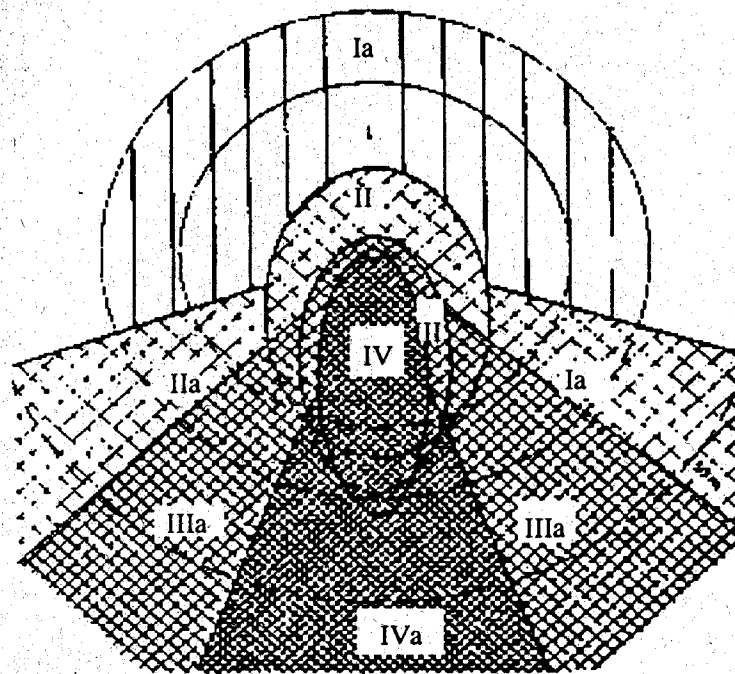
#### Alat penyalur

Penyiram statis mempunyai dampak distribusi yang kurang bagus dan terbatas. Oleh karena itu kurang baik untuk menyemprot limbah sampah. Saluran mulut pipa bisa berupa pipa statis dengan beberapa baris lubang yang dibor untuk mengalirkan air dari berbagai sudut, atau saluran semprot bolak-balik yang dikendalikan oleh motor hidrolik. Saluran semprot bekerja pada tekanan rendah atau menengah dengan pola-distribusi yang sangat peka terhadap arah angin. Hal mana merupakan kelemahannya jika digunakan untuk menyiram limbah.

Untuk penyiram berputar digunakan kedua jenis rotasi lambat dan cepat. Yang paling penting untuk kebutuhan pertanian ialah jenis rotasi lambat. Jenis ini dapat menyelesaikan satu putaran dalam 30-120 detik yang digerakkan oleh pancaran air. Berikut ini nilai minimum dan maksimum dari berbagai jenis penyiram:

	Minimum	Maksimum
Diameter alat semprot		32 mm
Tekanan penyiram		7 bar
Lebar penyiram		65 m
Luas area yang disiram	80	6000 m <sup>2</sup>
Kedalaman siraman		25 mm/j
Konsumsi air	0,5	110 m <sup>3</sup> /j





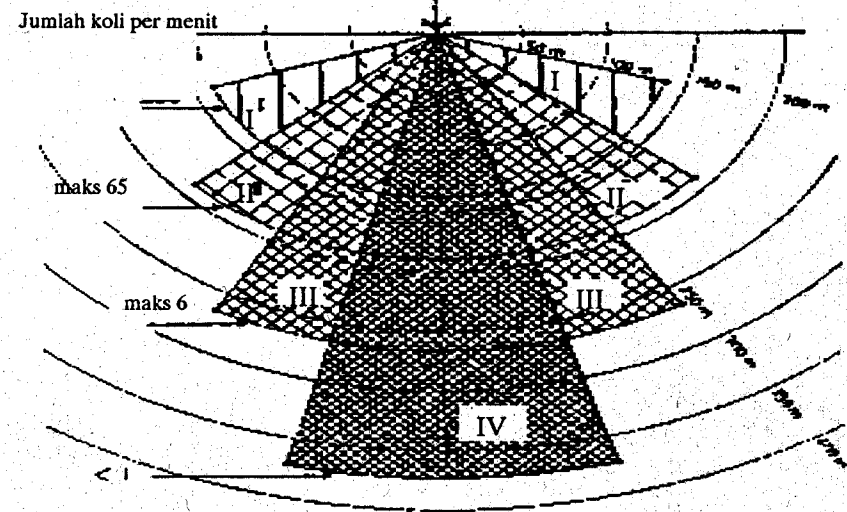
velocitas angin (m/dt)	area semprotan	penyebaran bakteri
0	I	Ia
0,5-2	II	IIa
2-4	III	IIIa
4-6	IV	IVa

Gambar 6.7. Area penyiraman dan penyebaran bakteri pada berbagai velositas angin

Untuk irigasi limbah, diameter alat penyemprot harus cukup lebar agar tidak mampat.

Ada dua hal khusus dari irigasi penyiraman:

- hilangnya air oleh penguapan tergantung dari velositas angin; dan
- perpindahan patogenik dalam tetes limbah dan aerosol tergand



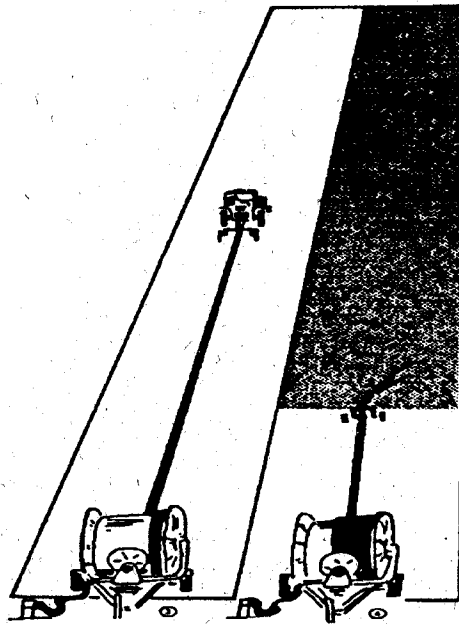
Gambar 6.8. Jumlah coli pada berbagai velositas angin (diameter alat siram 22 mm)

tung dari velositas angin (lihat Gambar 6.7. dan 6.8.).

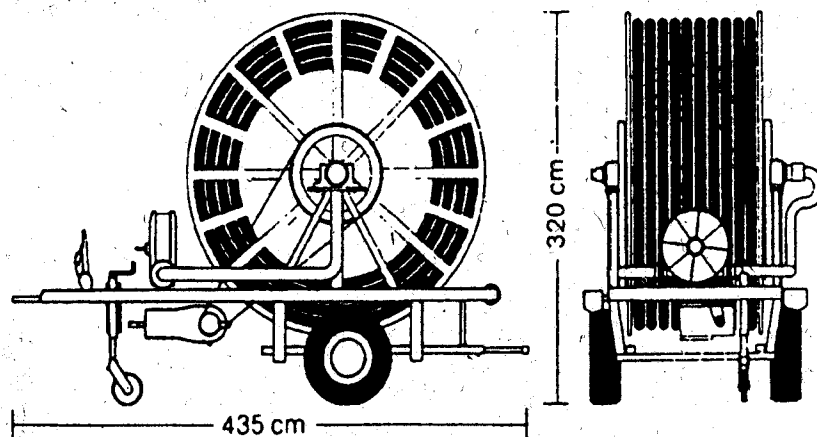
Mesin penyiram diletakkan di tepi lahan dan dihubungkan dengan sumber air. Gerobak penyiram ini dijalankan ke dalam areal tanaman sejauh maksimum 400 m dan ditarik balik selama penyemprotan. Ketika gerobak penyiram sampai di mesin, maka penggulungan pipa akan berhenti secara otomatis (lihat Gambar 6.9. dan 6.10).

#### Irigasi trickle (kocor)

Dasar metode ini ialah pengaliran air dalam jumlah kecil dari alat semprot yang berdiameter kecil dan sangat canggih, yang ditempatkan pada atau di bawah permukaan tanah. Metode ini memiliki banyak kelebihan terutama dalam penghematan air dengan memperkecil evaporasi, mengurangi aliran air, mencegah terbuangnya air oleh angin, dan membatasi penyediaan air hanya pada bagian tanah di mana penyerapan air oleh akar paling efisien. Irigasi *trickle* ini tidak akan diuraikan di sini, karena metode ini tidak dapat diterapkan pada irigasi limbah. Alat semprot berdiameter kecil sangat peka terhadap partikel padat kecil-kecil yang terdapat dalam air irigasi. Oleh karena itu siklon dan filter harus dipasang pada pipa



Gambar 6.9. Skema operasi mesin penyiram



Gambar 6.10. Pengangkutan mesin penyiram

induk untuk memisahkan partikel-partikel tersebut. Limbah yang telah mendapat pengolahan awal dapat mengandung partikel padat dengan konsentrasi tinggi, misalnya ganggang yang dengan cepat akan dapat memampatkan semua peralatan filter.

#### Saran tambahan

Dalam menggunakan irigasi penyiraman harus diupayakan untuk menekan masalah kesehatan seminimal mungkin. Seperti diketahui, perpindahan aerosol dan daya tahan patogen akan meningkat bersamaan dengan bertambahnya kecepatan angin (lihat Gambar 6.7. dan 6.8.), dengan meningkatnya kelembaban nisbi dan menurunnya suhu dan intensitas cahaya (semakin gelap). Metode-metode mutakhir yang dipakai untuk mengurangi masalah yang dapat timbul dari perpindahan penyakit aerosol meliputi isolasi jarak sekitar 300 m, penyaringan tumbuh-tumbuhan, dan penerapan teknik untuk mengurangi pembentukan aerosol seperti misalnya peralatan irigasi penyiraman yang bertekanan rendah dengan droplet besar dan penyemprotan yang dilakukan jika angin tidak begitu besar.

Masalah lain ialah perlindungan kesehatan para pekerja tani ketika irigasi limbah sedang dijalankan. Ada patokan-patokan kesehatan perorangan yang ternyata cukup efektif untuk melindungi kesehatan petani. Menurut rekomendasi WHO, kesehatan perorangan harus meliputi:

- menghindari kontak dengan air limbah/sampah,
- memakai pakaian pelindung yang dapat diganti setelah selesai bekerja,
- mencuci tangan sebelum makan atau merokok.

#### Kepustakaan

1. Arceivalla, S.J. *Simple waste treatment methods*.
2. EURO Reports and Studies 42. "Studies 42: Health Aspects of Treated Sewage Re-Use", laporan pada Seminar WHO.
3. ATV - Arbeitsbericht. 1979. "Abwaseteiche für kommunales Abwasser", Korrespondenz Abwasser, Heft 8.
4. Yaron, B., E. Danfors dan Y. Vaadia. *Arid zone irrigation*.
5. Withers, B., dan S. Vipond. "Irrigation: design and practice."
6. Kuratorium für Kulturbauwesen, Heft 16. "Abwasser- und Schlammver-

wertung in hygienischer Hinsicht."

7. Perrot, H. "Handbuch der Berechnungstechnik."
8. Perrot, H. "Faustzahlen für Berechnungspraktiker."
9. Bucksteeg, K. 1982. "New trends in treatment, processing and transport of sewage water of agricultural use in small communities," Seminar Mesir-Jerman, "Water Reuse in Urban and Rural Areas," 27 Februari-2 Maret, Cairo University.

## Bab VII

# PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI DI NEGARA BERKEMBANG\*

*L. Hartmann*

### Pengantar

Sebagai pemikiran pokok risalah ini saya ingin mengutip falsafah Cina yang akan memberikan gambaran problematika tema ini dan kerangka pemikiran jalan keluarnya, dan karenanya juga akan merupakan landasan pandangan saya serta cara pembahasan tema ini:

- jangan bertindak menentang alam, tetapi mendorong mengembangkannya
- orang bijak mengikuti gerak alam, agar ia dapat mengawasinya,
- mula-mula serahkan semuanya kepada alam itu sendiri, lalu perhatikan, renungkan, kenali, serta gunakan mekanismenya dan dengan demikian dapatkan faedahnya secara ekonomis.

Kalimat-kalimat tersebut mengandung seluruh kebijaksanaan mengenai integrasi ekologi dan setiap bentuk ekonomi yang terintegrasi secara ekologi. Dan karena itu, seperti yang telah dikatakan, dapat menjadi pedoman untuk pembahasan tema dalam kasus kita, seperti juga untuk mengembangkan metode yang bijaksana dalam mengolah air limbah.

---

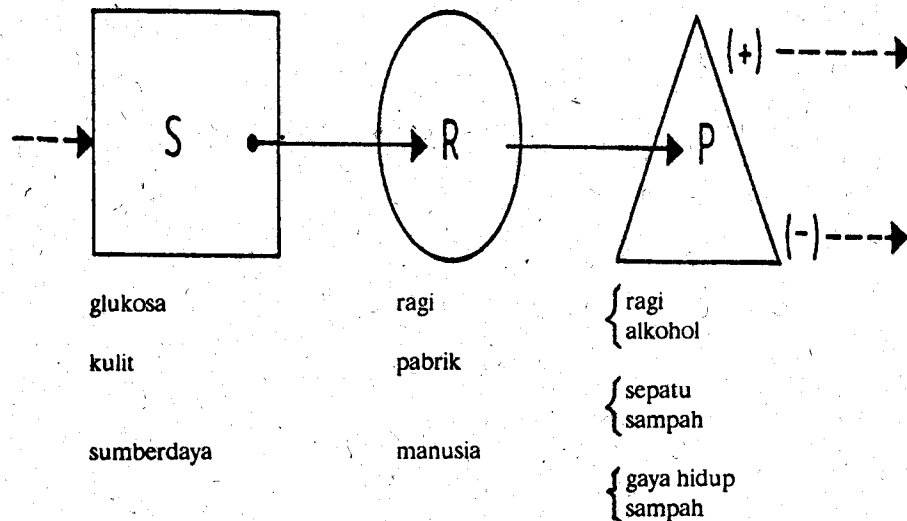
\* Diterjemahkan dari L. Hartman, "Behadlung Industrieller Abwasser in Entwicklungslanden"

### Model Dasar Ekonomi-Ekologi

Sejak bertahun-tahun saya menggunakan model yang sederhana untuk menelusuri sistem ekologi dan ekonomi yang rumit sampai pada model dasarnya. Model ini, yang kami namakan elemen dasar ekologi (dan biocoenotika) (Gambar 7.1.), menyatakan tidak lain bahwa satuan terkecil dari sistem ekologi dan ekonomi yang tidak dapat dibagi lagi bukan merupakan organisme, melainkan sistem fungsi:

Suatu struktur tertentu (S) yang melakukan reaksi (jenis organisme, instalasi pabrik) menyedot bahan mentah (B) dan menghasilkan produksi (P). Yang penting pertama-tama ialah bahwa tidak terdapat satu produk, melainkan dua produk yang mutunya sangat berbeda, yaitu produk  $P^+$  serta sampah  $P^-$  sebagai akibat pembentukan  $P^+$ . Ragi, misalnya, di bawah persyaratan anaerob yang menghasilkan alkohol  $P^+$ , merupakan sampah cair atau sampah padat untuk sebuah pabrik.

Yang penting selanjutnya ialah bahwa di alam tidak terdapat sistem yang terisolir atau hanya dapat terjadi untuk waktu singkat. Setiap unsur semacam ini tergantung pada pemasokan B dan pemisahan P. Dan hal ini terjadi dengan cara ikatan elemen, sehingga setiap P tidak lain merupakan B untuk elemen berikutnya, dan setiap B merupakan P dari elemen berikutnya. Karena itu, sistem ekologi alami juga tidak mengenal limbah. Limbah dan organisme terpadu dalam sebuah sistem ikatan, yang



Gambar 7.1. Elemen dasar ekologi

ditandai oleh pengangkutan bahan dan dengan pengangkutan energi yang berhubungan pada pengangkutan bahan.

### Sistem-sistem

Secara singkat dapat dikatakan bahwa sistem-sistem demikian memiliki model dasar yang sederhana: jika kita mulai dengan bahan organik, yang terdiri dari rangkaian penghisap makanan dari organisme organotrop yang menggunakan semua energi yang diterimanya dengan memakai zat asam melalui oksidasi bahan organik. Dengan demikian panas menjadi lepas dan produk oksidasi kembali ke alam, di mana produk itu kembali tersedia bagi tumbuh-tumbuhan untuk membentuk bahan organik.

Untuk penilaian selanjutnya mengenai pengalihan situasi alam ini untuk kegunaan ekonomi, masih diperlukan informasi tambahan, yaitu tentang tingkat kegunaannya. Jika kita berangkat dari bahan organik yang larut, maka elemen pertama yang berasal dari bakteri yang hidup dari bahan organik memiliki tingkat kegunaan tertinggi, kira-kira 50%. Semua elemen berikutnya hanya memiliki tingkat kegunaan sebesar 10%. Untuk elemen terakhir yang hidup dalam lingkungan air, tingkat kegunaannya kembali menjadi lebih baik, karena ikan, misalnya, hidup tidak hanya dari pra-elemen binatang, tetapi juga dapat memakan mikro-organisme tumbuh-tumbuhan. Untuk tumbuh-tumbuhan tingkat kegunaannya kembali menjadi 100% (Gambar 7.2.).

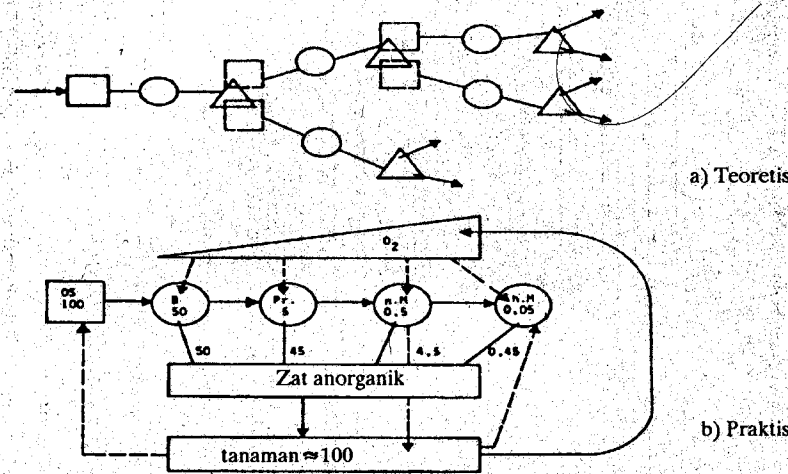
### Persyaratan Umum

Pengolahan air limbah memang merupakan tugas teknologi, tetapi harus diintegrasikan ke dalam sistem ekologi dan ekonomi yang ada. Tanpa memperhatikan situasi yang ada ini, konsep teknik yang terbaik sekalipun akan sia-sia saja.

Dasar untuk mendiskusikan persyaratan ini ialah elemen dasar biocoenotika tadi, yang berikut ini akan digambarkan secara lebih rinci. Sekarang B merupakan jumlah sumber daya, S merupakan kompleksitas dari masing-masing sistem sosial dan ekonomi yang ada (Gambar 7.3.).

Sub-sistem ekologi B yang ada menawarkan serangkaian kegunaan yang sangat berbeda-beda. Sub-sistem manusia, juga dari struktur internalnya, mengajukan tuntutan-tuntutan. Seni seorang insinyur (dalam pengertian luas) ialah mengatakan kepada politik, tuntutan mana yang dapat di-realisasikan dalam kerangka ekologi yang ada, dan apa saja yang tidak

### Memfaatkan Air Limbah



Perihal:

1. analisa air kotor:

- Konsentrasi
- Kinetik
- Hasil

2. Teknologi

**Gambar 7.2.** Kaitan elemen-elemen dengan simbiose-simbiose

dapat direalisasikan. Untuk itu perlu diperhatikan bahwa juga pada interaksi kedua sistem ini tidak dapat dicegah terbentuknya produk yang negatif.

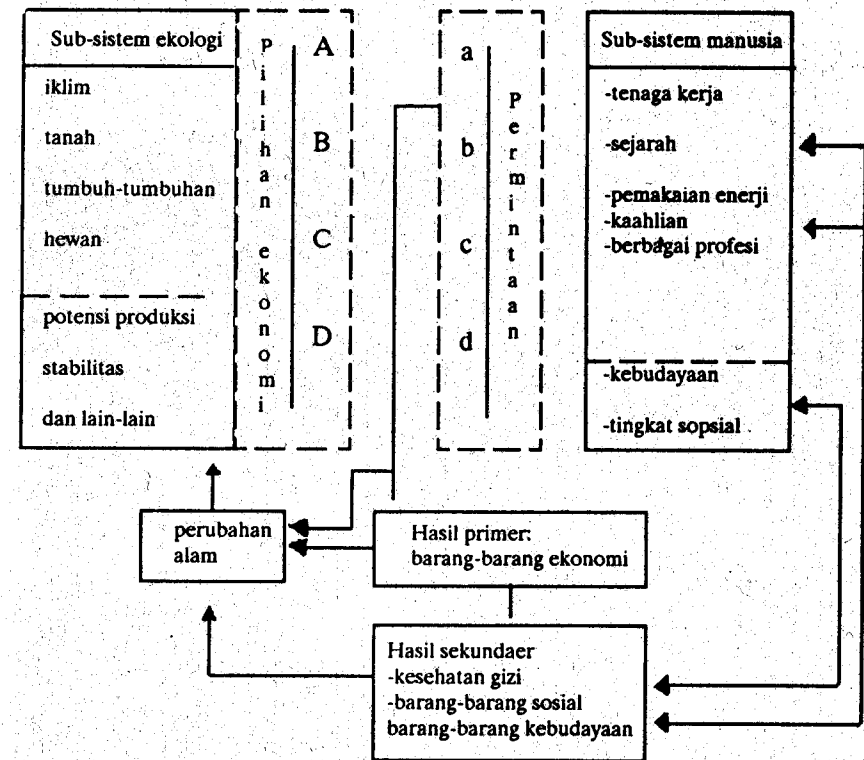
Untuk kerangka risalah ini memang tidaklah penting, tetapi perlu diingatkan bahwa di pihak produk yang positif, terdapat dua valensi yang mutunya berbeda, yaitu pertama-tama barang-barang ekonomi yang baru akan berubah dalam transformasi menjadi barang-barang yang tingkatnya lebih tinggi (kesehatan, sosial, budaya).

'Produk negatif' kembali ke alam dan di sana jika tidak tergabung atau tidak dapat diolah, akan menyebabkan destabilisasi sistem alami yang tidak dapat diperbaiki lagi.

### Kesimpulan Dasar-dasar Pengolahan Limbah dalam Hubungannya dengan Pemakaian Kembali

Diskusi mengenai elemen-elemen dasar biocoenotika dan kaitan elemen-elemen semacam itu ke sistem reaksi yang terintegrasi yang lebih

### Pengolahan Air Limbah Industri di Negara Berkembang



**Gambar 7.3.** Integrasi sub-sistem ekologi dan Okumene (Hartman)

besar serta kaitan sistem alami semacam itu ke sistem ekonomi lagi, memperlihatkan dengan jelas pertanyaan apa yang harus diajukan jika harus mengolah air limbah industri. Pertanyaan pertama ditujukan terhadap mutu air limbah:

- apakah secara biologi masih dapat dipergunakan kembali?
- cara yang mungkin?
- bagaimana hasilnya?

Pertanyaan kedua ditujukan kepada situasi ekonomi dan sosial yang ada:

- untuk produksi mana timbul kebutuhan tersebut?
- sejauh mana diperbolehkan adanya 'pencemaran lingkungan'?
- berapa biaya yang diperlukan untuk pengolahan air limbah? (uang

dan ruang?)

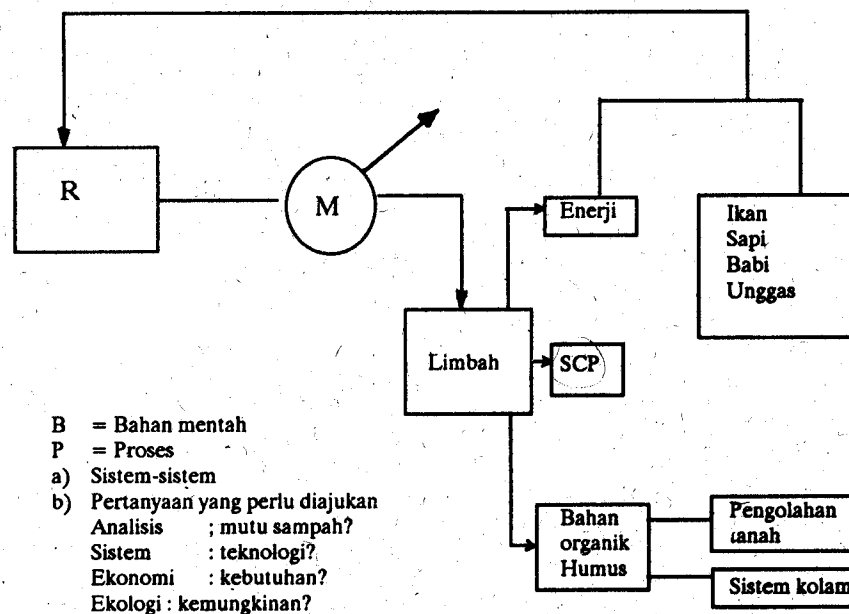
Gabungan dari jawaban yang diberikan atas pertanyaan tersebut akhirnya akan membawa ke teknologi yang tepat. Pada dasarnya di negara berkembang terdapat kebutuhan akan energi dan putih telur hewani. Kemungkinan teoretis yang dapat memadukan pengolahan air limbah dengan kegunaan ekonomi, akan diperlihatkan pada Gambar 7.4.

#### Contoh: Penggunaan Nejayote

Berikut ini akan dibahas jalan keluar pengolahan air limbah yang terintegrasi secara ekonomi-ekologi dalam sebuah contoh kasus.

#### Air limbah

Nejayote ialah air limbah yang terjadi pada "penguraian" jagung secara



Gambar 7.4. Kemungkinan-kemungkinan integrasi pengolahan sampah dan penggunaan sampah kembali

alkalis. Jagung itu sendiri akan ditumbuk setelah mengalami perubahan alkalis. Tepung yang kemudian dihasilkannya lalu dipakai untuk membuat tortilis, yaitu makanan utama di negara-negara Amerika Latin.

Kira-kira 2% bahan organik dapat larut dan dari air limbah ini secara

2% bahan organik dalam larutan	20 ton jagung yang diolah
	x 0,02
Hasil (biomassa yang dihasilkan per bahan yang dihancurkan) = 0,5 (perkiraan konservatif)	400 kg dalam larutan
	x 0,5
Kadar putih telur dari biomassa: 40-60% dari berat kering	200 kg biomassa
	x 0,5
1 ton makanan ternak dari jagung dengan kadar putih telur antara 7-13% dari berat kering	100 kg single cell protein (putih telur dari binatang bersel 1)
	100 kg putih telur dari jagung

Gambar 7.5. Potensi produksi SCP dari Nejayote

teoretis dapat dihasilkan 100 kg *single cell protein* (Gambar 7.5.) dari 20 ton jagung yang diolah.

#### Pemanfaatan kembali air limbah

Nejayote merupakan air limbah berkonsentrasi tinggi dengan beberapa keistimewaan.

- Nilai pHnya termasuk tinggi, sebagai hasil penguraian alkalis (Tabel 7.1.)
- Urutan waktu strukturnya yang rumit ialah nilai-nilai relatif, misalnya dari COD ke BOD atau dari BOD ke DOC, di luar kerangka air limbah lainnya.

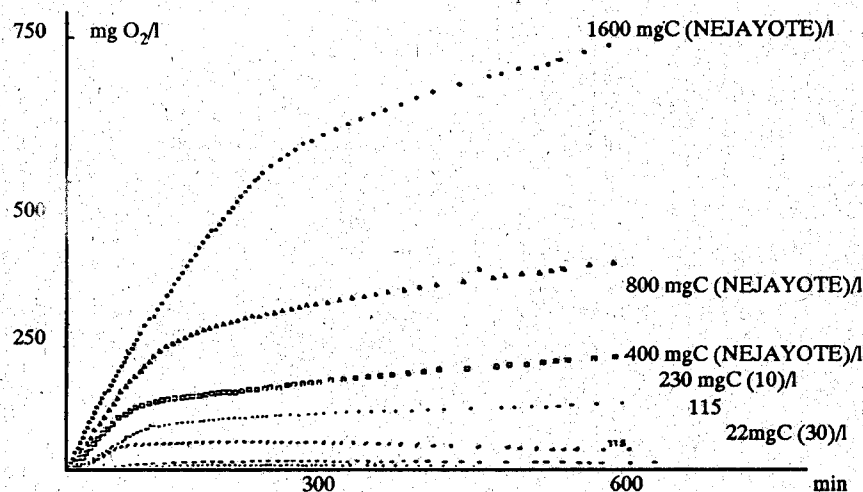
Latar belakang gangguan ini ialah karena nilai BOD tidak memberi in



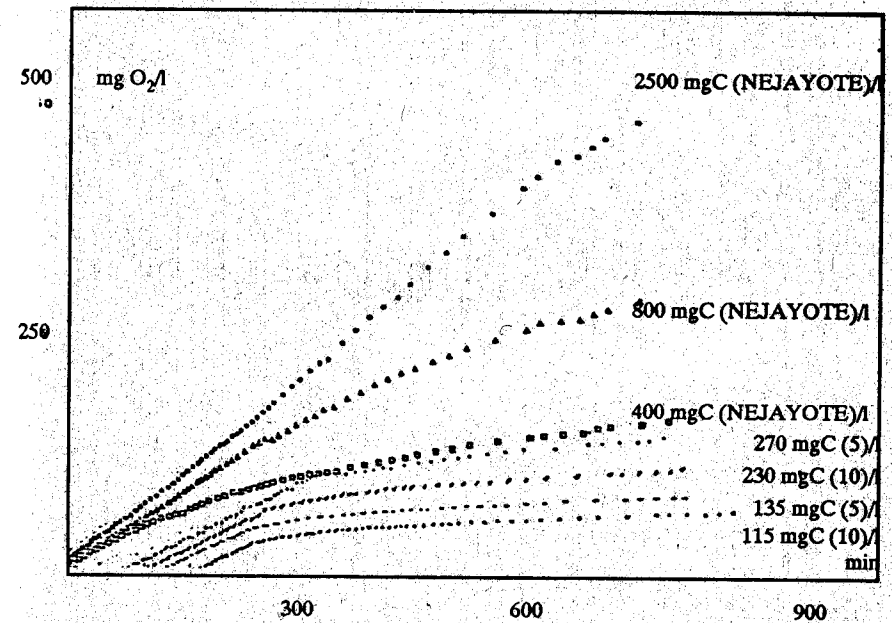
**Tabel 7.1.** Dampak variasi-variasi niksamalisasi terhadap komposisi air limbah

Parameter air limbah mg/l		Variasi 1 Konsen. awal g Ca (OH) <sub>2</sub> /l		Variasi 2 Konsen. awal g Ca (OH) <sub>2</sub> /l	
		3,3	5,0	3,3	5,0
BOD <sub>5</sub>	E	5.200,0	4325,0	6.300,0	5.500,0
	S	1.150,0	900,0	880,0	900,0
COD	E	31.624,0	31.256,0	24.847,0	31.256,0
	S	5.647,0	6.140,0	6.400,0	4.465,0
DOC	E	6.300,0	5.600,0	6.000,0	5.200,0
	S	950,0	850,0,0	850,0	400,0
Ca(OH) <sub>2</sub>	E	2.304,0	4.701,0	2.555,0	4.525,0
	S	200,0	621,0	255,0	281,0
N organik	E	175,0	203,0	172,0	189,0
	S	39,0	51,0	42,0	42,0
ph	E	11,7	12,4	11,6	12,4
	S	10,0	12,1	9,8	12,1

(E) Air pelunak ; (S) Air pembersih



**Gambar 7. 6a.** Kurva makanan-Warburg dengan biomassa di lempeng celup



**Gambar 7. 6b.** Kurva makanan-Warburg dengan biomassa di lempeng celup

formasi yang baik mengenai pengotoran itu sendiri, sebab, setelah 5 hari BOD Plateau masih belum hancur (Tabel 7.1.)

Walaupun demikian terdapat kemungkinan penghancurannya, artinya terdapat penggunaan kembali secara biologi jika biocoenosa yang telah menyesuaikan diri, dipergunakan untuk uji penghancurannya (Gambar 7.6.)

#### Kerangka ekonomi

Untuk menggambarkan kerangka ekonomi, cukup dengan beberapa kalimat saja: Meksiko, misalnya, dengan penduduknya yang makin bertambah jumlahnya sekarang tergantung pada impor jagung dari Amerika Serikat. Impor ini terutama dipergunakan sebagai makanan ternak untuk menutup kekurangan putih telur hewani.

Keinginan untuk membuat *single cell protein* dari air limbah bekas pengolahan jagung, agar dengan demikian tidak hanya dapat me-

mecahkan masalah air limbah, tetapi juga mendapatkan makanan ternak yang sangat berharga, tidak memerlukan alasan selanjutnya yang terinci.

### Teknologi

Digunakannya teknik pengaktifan lumpur (Tabel 7.2.) membawa hasil yang baik dalam hal pembersihan limbah. Baik nilai reduksi BOD dan juga reduksi COD terletak pada 90%. Nilai pH, sebagai hasil dari kegiatan mikroba, dikurangi sampai pada nilai normal. Juga penggunaan massa bakteri menguntungkan dan berada dalam jumlah yang diharapkan.

Tetapi yang tidak optimal ialah nilai SVI (Indeks Volume Lumpur). Nilai SVI 190 sampai 250 ml/g di laboratorium dapat menyulitkan pekerjaan kilang. Berdasarkan alasan ini tidak dianjurkan untuk menggunakan teknik pengaktifan lumpur.

Percobaan dengan lempeng celup segera memperlihatkan hasil yang baik dalam hal pengambilan bahan dan hasil pembersihan serta tidak menimbulkan kesulitan seperti pada teknik pengaktifan lumpur (Gambar 7.7.).

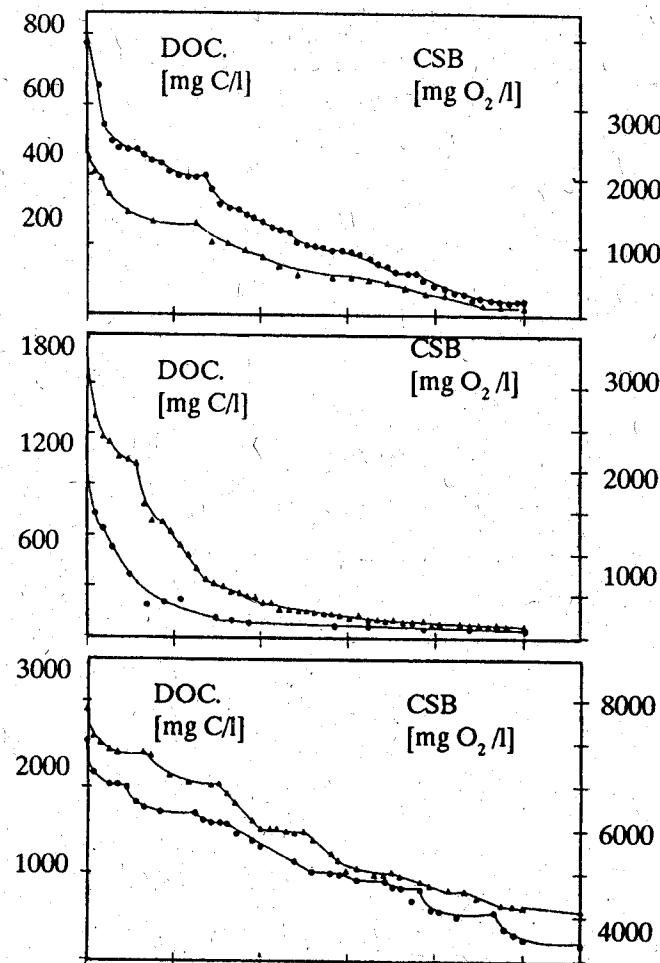
Tabel 7.2. Percobaan menghancurkan Nejayote dengan lumpur yang di aktifkan. Semi kesinambungan ( $T_{\text{ruang}} = 22^{\circ} \text{C}$ )

	I		II		III		IV	
	M	K	M	K	M	K	M	K
Biomassa (gTS/l)	0,9	3,72	3,1	3,98	2,65	4,63*	5,28	3,90*
(hasil, gTS/gC)				(0,3)		(0,7)**		(0,5)
DOC, mg C/l	1.650,0	108,0	2.740,0	70,0	2.740,00	80,00	2700,00	1100
(%penghancuran)		(93)		(97)		(97)		(96)
COD, mg O <sub>2</sub> /l	4.388,0	543,0	6.580,0	375,0	6.749,000	496,00	6.766,00	490,00
(%penghancuran)		(88)		(94)		(93)		(93)
BOD <sub>5</sub> , mg O <sub>2</sub> /l	1.050,0	57,0	1.050,0	13,0	1.500,00	12,00	1225,00	65,00
(%penghancuran)		(95)		(99)		(99)		(95)
N keseluruhan (mg N/l)	188,0	37,0	190,0	16,0	162,00	24,00	151,00	16,00
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , mg/l	9,0		14,0		25,00	3,00	15,00	16,00
pH	7,2		7,0	8,0	7,10	8,20	7,80	8,10
waktu biooksidasi, h	470,2	8,1	242,0		305,00		240,00	

\*  $SIV_{III} = 190 \text{ mg/l}$  dan  $SIV_{IV} = 250 \text{ ml/g}$

\*\* Nilai hasil sangat tinggi, kemungkinan salah penentuan tidak tertutup

M = arus masuk ; K = Arus keluar



Gambar 7.7a, 7b, 7c Penghancuran DOC dan COD Nejayote dalam STK

### Pemanfaatan kembali biomassa yang dihasilkan

Massa sel yang didapatkan dengan bantuan lempeng celup mempunyai bagian protein yang tinggi dan mengandung cukup zat-serat, sehingga dapat dipakai sebagai bahan makanan ternak (Tabel 7.3.). Asam amino yang penting terdapat dalam konsentrasi tersebut sesuai dengan standar FAD

untuk bahan makanan binatang yang mengandung protein (Tabel 7.4.)

**Tabel 7.3.** Susunan bromatologi biomassa dari blok pertama dan ketiga sebuah STKs (g/100 g percobaan, bahan kering)

Percobaan	Kelembaban	Gemuk	Protein*	Serat	Abu
Blok pertama Biomassa	6,4	3,5	52,1	12,0	6,7
Blok ketiga Biomassa	5,8	3,4	30,9	5,7	16,8

Protein\* = N organ. x 6,25  
(Analisis dalam Laboratorios de Calidad, INIASARH, Chapingo, Meksiko).

**Tabel 7.4.** Aminogram dari protein biomassa mikroba dari blok pertama dan ketiga sebuah STKs

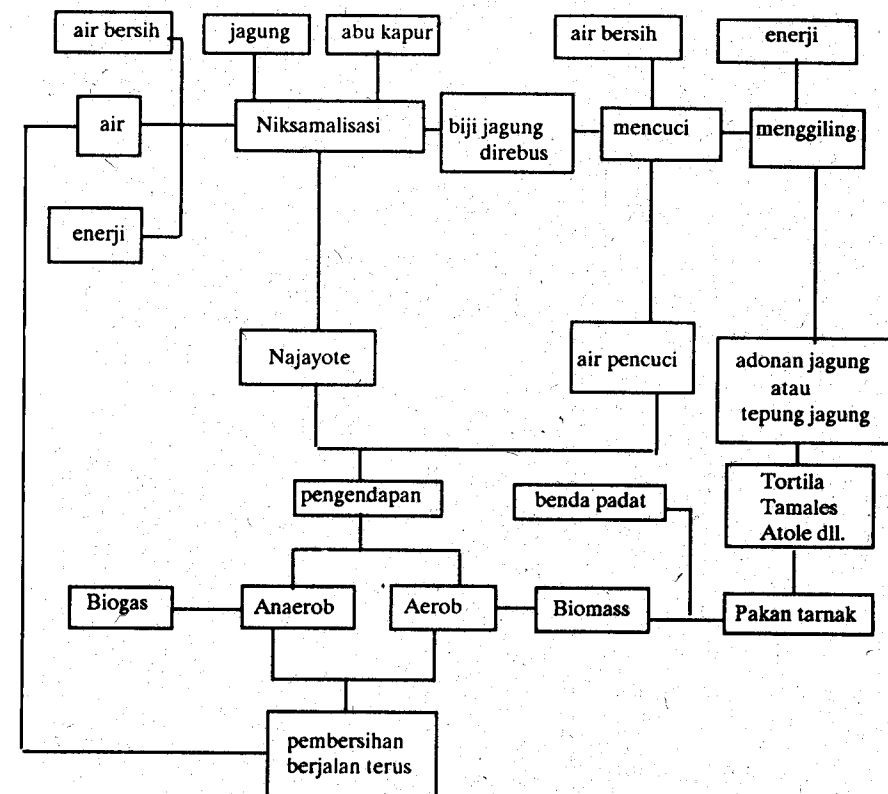
Asam amino (esensial)	Standar FAO	Blok biomassa	
		1	3
lysin	4,00	5,71	4,47
threonin	2,80	4,49	4,68
isoleucin	4,80	3,83	3,88
valin	4,20	5,02	5,34
metionin**	2,20	1,99	1,71
penilalanin	2,80	8,46	7,06
protein (% N x 6,25)	-	52,10	30,9

\* Untuk binatang bermonogastri diteliti oleh sebuah kelompok peneliti internasional dan dipublikasi oleh "Food and Agriculture Organization" dari PBB.

\*\* Sebagian dihancurkan oleh hidrolisis (Analisis Laboratorio de Calidad de Proteina, CYMMIT, El Batan, Meksiko).

### Konsep keseluruhan

Konsep keseluruhan dari jalannya proses pengulangan jagung sampai pada pemakaian ulang limbah digambarkan dalam Gambar 7.8. Penerapannya dalam praktek merupakan tugas di tahun mendatang.



**Gambar 7.8.** Proses pengolahan nejayote secara biologis

## Bab VIII

# TEKNOLOGI TEPAT-GUNA SECARA TEKNIS, SOSIAL DAN EKONOMIS DALAM SISTEM PENYEDIAAN AIR MINUM BAGI MASYARAKAT PEDESAAN\*

*Ralf G. Cembrowicz*

Selama tahun-tahun terakhir ini istilah "teknologi tepat-guna" telah menjadi satu kata yang seolah-olah mempunyai daya magis bagi para pakar negara-negara Barat dalam hubungannya dengan negara "berkembang". Istilah ini menjadi populer karena dengan tepat dapat menggabungkan aspek-aspek dari berbagai segi yang biasanya diperlakukan secara terpisah. Istilah ini dapat mempunyai implikasi, pertama-tama ekonomi di mana kadang-kadang "tepat-guna" dapat berarti "biaya rendah"; kedua, telah diakui bahwa diperlukan pemecahan secara sosial dan budaya; ketiga, patokan teknik yang sebanding harus segera dibuat agar dapat dimanfaatkan; keempat, di negara-negara industri sendiri telah dibuka suatu dimensi baru bagi teknologi "ringan" atau "pertengahan" yang dapat merupakan mata-rantai yang aktif dengan strategi "tepat-guna".

Masing-masing aspek menunjukkan adanya perbedaan dalam alam pemikiran dan sikap yang diambil para pakar dan lembaga bantuan negara Barat terhadap negara berkembang jika dibandingkan dengan satu atau dua dasawarsa yang lalu. Kali ini kami ingin memusatkan pembahasan pada unsur-unsur positif ini saja dan tidak akan menyinggung masalah-masalah

Diterjemahkan dari Ralf G. Cembrowicz, "Technically, Socially and Economically Appropriate Technologie for Drinking Water Supply in Small Communities in Rural Areas."

pelik yang mungkin dianggap penting bagi mereka yang sering menggunakan istilah "tepat-guna." Masih ada aspek-aspek penting lain, misalnya pertimbangan-pertimbangan kesehatan, sanitasi dan ekologi yang harus diperhatikan dalam mempersiapkan rencana penyediaan air dengan kualitas yang memadai dan dalam jumlah yang cukup banyak.

Sekarang ini kita telah sampai pada tahun kedua dari program PBB yang disebut "Sanitation and Water Supply Decade" melalui WHO. Tujuan program ini ialah untuk menyediakan dua kebutuhan manusia yang paling dasar, yaitu air bersih dan sistem pembuangan sampah yang bersih bagi semua penduduk dunia sebelum dasawarsa ini berakhir. Telah diperkirakan bahwa lebih dari 70 persen penduduk negara-negara berkembang tinggal di pedesaan, dan hampir 90 persen dari mereka ini sulit untuk mendapatkan air yang bersih. Dewasa ini sejumlah 1,1 milyar penduduk negara berkembang barangkali kekurangan kedua fasilitas penting ini. Biaya yang diperlukan untuk mengatasi masalah ini besar sekali. Jika kita tambahkan pula angka perkiraan pertumbuhan penduduk, berarti sejumlah 2 milyar penduduk yang harus mendapatkan pelayanan ini sebelum tahun 1990. Angka perkiraan terendah untuk membiayai penyediaan air minum bagi penduduk ini kira-kira US \$ 60 milyar, dan untuk sistem pembuangan antara US \$ 300-600 milyar.

Namun demikian, jumlah ini masih lebih rendah jika dibandingkan dengan jumlah biaya yang dikeluarkan untuk sistem pertahanan seluruh dunia dalam setahun. Bahkan sasaran WHO untuk meningkatkan jumlah penduduk pedesaan yang mendapat fasilitas ini dari 10 persen pada tahun 1972 menjadi 20 persen pada tahun 1980 ternyata tidak mungkin tercapai karena pertumbuhan penduduk sedemikian rupa sehingga sulit untuk dipertahankan pada tingkat penduduk yang ada sekarang.

Sekarang ini sekitar 2,3 milyar penduduk berpendapatan di bawah 300 dolar setahun, sementara sekitar 1 milyar lainnya bahkan berpendapatan di bawah 100 dolar setahun. Mengingat tingginya pertumbuhan penduduk sekarang ini, banyak yang menyangsikan bahwa kemajuan masih akan dapat tercapai. Masukan yang memadai harus datang dari penduduk itu sendiri. Sebab itu aspek tambahan lainnya dari gagasan teknologi tepat-guna bagi penyediaan air di pedesaan merupakan dukungan dan peningkatan bagi apa yang dikenal dengan "program mandiri", termasuk juga pengembangan dan perluasan teknologi pribumi. Di samping itu, dari angka yang disebut di atas, tampak bahwa sebagian besar penduduk dunia termasuk dalam kategori "sedang berkembang" atau bahkan "kurang berkembang".

Mengingat terbatasnya ruang penulisan artikel ini, penulis akan ber-

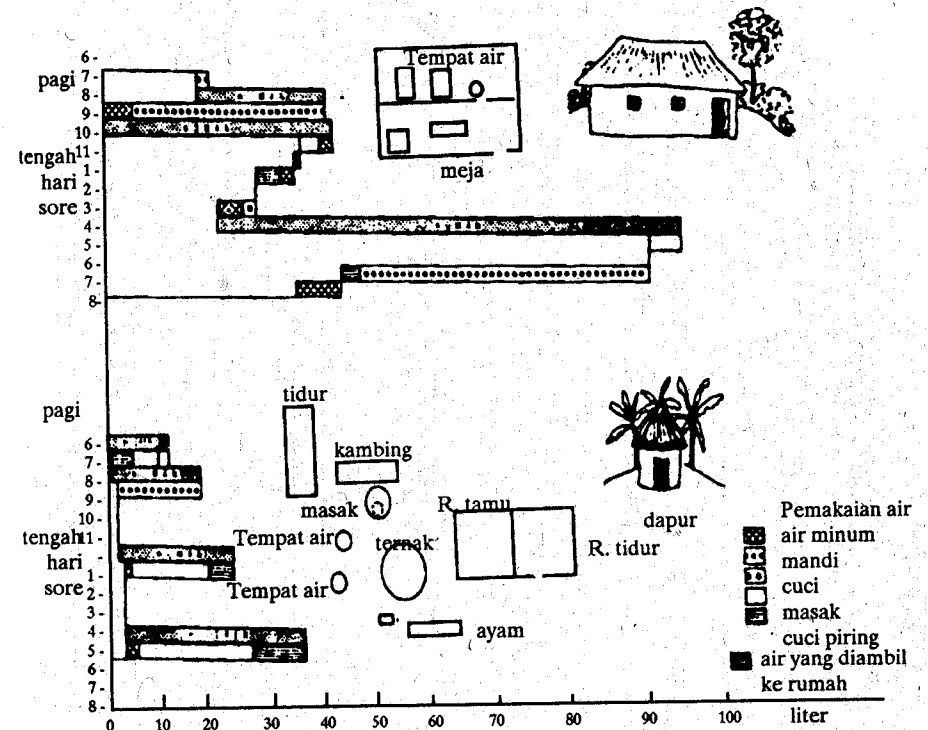
usaha untuk meliputi beberapa masalah yang relevan, bahkan mungkin baru, yang menyangkut topik artikel ini, tanpa maksud untuk membahasnya secara menyeluruh. Memang, sebenarnya parameter yang dapat mempengaruhi jalan penyelesaian yang "tepat-guna" seolah-olah tidak terbatas jumlahnya. Untunglah sekarang dilakukan penelitian yang intensif mengenai variasi-variasi kondisi iklim, budaya, ekologi, geologi, dan hidrologi.

### Tuntutan Rancangan

Pembahasan di tingkat pusat mengenai masalah-masalah berikut hampir selalu muncul pada bagian awal tahap perencanaan kebutuhan air. Misalnya, berapa konsumsi per kapita? Apakah ada faktor-faktor musiman atau harian yang penting? Apakah kemudian akan ada kenaikan konsumsi yang berarti setelah ada air? Apakah ada kebutuhan lainnya untuk binatang atau penyiraman tanaman di kebun, misalnya? Bagaimana dengan elastisitas tarif air? Apakah dengan adanya penyediaan air akan dapat mengundang penduduk lain? Apakah ada penduduk yang sering berpindah secara musiman ke desa ini dan membutuhkan air ini juga? Pada umumnya, pertanyaan-pertanyaan inilah yang sangat penting dalam menentukan pemilihan rancangan dan teknik yang tepat, dan akhir-akhir ini penelitian yang lebih teliti lagi mengenai adat-istiadat, pola hidup sehari-hari, dan sebagainya, juga telah dilaksanakan, kadang-kadang secara terinci (Gambar 8.1.).

Biasanya jumlah kebutuhan menunjukkan angka yang berbeda-beda dalam laporan yang dibuat oleh para konsultan, lembaga keuangan, atau oleh wakil rakyat setempat menurut kepentingannya masing-masing. Dalam keadaan yang paling gawat, manusia memerlukan minimum kira-kira 2 liter air sehari, tergantung dari jumlah kandungan air dalam bahan makanan untuk keperluan minum dan mencuci. Jika konsumen mendapat suplai air, secara teori, dalam jumlah yang tak terbatas dari sebuah mata air umum dan bisa membawanya ke rumahnya, maka jumlah penggunaan air pada umumnya antara 10 sampai 20 liter per kapita per hari (lph).

Mengingat perbedaan yang dapat terjadi antara 10 lph dengan, misalnya 30 lph (angka yang sering dipakai oleh para konsultan Jerman), suatu faktor, yaitu 300%, dapat juga dimunculkan dalam kaitannya dengan pembiayaan. Akan tetapi, dalam kasus teknik yang paling sederhana pun variasi kebutuhan mungkin saja terjadi, misalnya jika ada kebun sayuran yang harus disiram pada musim kemarau, jika dalam satu rumah ada lebih



Gambar 8.1. Diagram penggunaan air per hari pada dua lokasi (White dkk, 1972)

dari seorang wanita yang dapat mengambil air, jika ada drum penyimpanan air, jika air tidak usah dibeli, jika sudah menjadi kebiasaan untuk mandi sepulang kerja, dan sebagainya. Suatu penelitian yang dilakukan penulis di wilayah pedesaan Togo menunjukkan bahwa konsumsi air yang disalurkan melalui pipa, pada kondisi tertentu dapat mencapai 50 sampai 60 lph; seluruh dunia menggunakan angka 12 sampai 15 lph untuk perancangan. Tabel 8.1. menunjukkan data yang dikumpulkan dari seluruh dunia.

Pentingnya mengumpulkan lebih banyak fakta yang berkaitan dengan kebutuhan perancangan tidak saja disebabkan oleh begitu besarnya biaya yang diperlukan untuk penyediaan air, namun juga karena untuk bermilyar manusia dan alasan-alasan teknik pengoperasian dan pemeliharaan, serta karena pentingnya kualitas air yang dihasilkan. Pada umumnya *over-design* maupun *underdesign* dari sistem penyediaan air dapat mengakibatkan hal-hal yang kurang menguntungkan.

Tabel 8.1. Penggunaan per kapita air nonPAM (White dkk., 1972)

Negara	Lokasi	Perkiraan Konsumsi per kapita/hari (liter)	Sumber	Tahun
<i>Melalui Pipa di Perkotaan:</i>				
India	Kalkuta (pipa /pompa)	30	Lee, 1968	1964
Turki	Istambul besar	15	Noyam dan Senogullari, 1967	1965
Uganda	Kampala	14	Scaff, 1964	
Venezuela		15	Dietrich dan Henderson, 1963	
<i>Disalurkan di Pedesaan :</i>				
Rep. Cina	Pedesaan ( dengan sistem air)	50	Fung, 1967	
Jerman Barat	Sistem Pedesaan	83	Schickhardt, 1967	
<i>Tidak Disalurkan :</i>				
Bolivia	Tujuh desa	10	Teller, 1968	1968
Kenya	Zaina	7	Fenwick	
Nigeria	Kab. Ancahu	23-27	Nash, 1948	1948
Sudan	Kordofan	9-16	FAO Land and water Survey	
Tanzania	26 desa dalam 10 Kabupaten	5-26	Warner, 1969	1969

Para ahli analisis tertarik pada faktor-faktor korelasi. Sementara sudah banyak dibuat analisis ketergantungan parameter mengenai konsumen yang memiliki saluran air ke rumah-rumah, tetapi informasi mengenai konsumen dari pancuran untuk umum masih kurang, padahal bisa diperoleh korelasi yang berlaku untuk seluruh dunia. Misalnya, telah diakui secara umum bahwa semakin banyak penghuni satu rumah, semakin kecil penggunaan per kapitanya; kecuali jika satu rumah dihuni oleh dua orang yang sudah lanjut usia yang penggunaan airnya sedikit sekali. Lebih jauh lagi

untuk korelasi ini, kekayaan materi juga nampaknya mempengaruhi besarnya konsumsi air, dan juga dalam kasus mata air untuk umum. Karena kurangnya data mengenai "pendapatan" penduduk pedesaan, jumlah penghuni satu rumah disarankan sebagai faktor pengganti. Ada baiknya untuk tidak diusahakan mengkorelasikan GNP dengan konsumsi air, karena dapat menimbulkan suatu kemustahilan bagi negara berkembang; bahkan untuk negara industri pun dapat menimbulkan hasil yang keliru.

Penelitian juga menunjukkan bahwa nampaknya terdapat hanya sedikit variasi pada konsumsi rumah yang jaraknya lebih dari satu kilometer dari sumber pancuran air umum apa pun keadaan tanahnya. Karena dalam perancangannya, jarak tersebut dikuadratkan dengan menghitung luas areal yang akan disuplai air dengan pancuran yang dirancang, sekali lagi hal ini akan menjadi berarti bila, misalnya, dipakai 1 km atau 0,3 km sebagai angka rancangan (0,3 km biasa dipakai oleh para konsultan). Mendekati jarak sekitar 2 km, tingkat konsumsi akan cenderung merosot. Seperti yang telah disebut terdahulu, suatu korelasi yang positif juga terjadi dalam hubungannya dengan kekayaan materi, walaupun jumlah konsumsi absolutnya berbeda-beda menurut negara masing-masing, kebudayaan, suku bangsa, dan lain-lain. Sebagai contoh, di satu daerah tertentu semua penduduknya membawa air dalam tempat air yang khas dan nampak seragam, walaupun terdapat tempat air yang beraneka ragam bentuk dan besarnya yang digunakan oleh berbagai suku bangsa. Akan tetapi karena adanya perputaran siang dan malam di seluruh dunia yang menimbulkan pola kehidupan dasar manusia, jumlah rata-rata perjalanan mengambil air ternyata antara 2,5 dan 3,5 kali per hari di seluruh dunia. Kadang-kadang bisa terjadi pertukaran; misalnya, rumahtangga yang konsumsi airnya lebih tinggi karena letaknya berdekatan dengan sumber air (pipa/pompa), dapat diimbangi dengan mereka yang membawa pakaian ke sana untuk dicuci, apabila letak sumber airnya lebih jauh. Perubahan musim nampaknya tidak begitu berarti bagi penyediaan air yang tidak disalurkan, kecuali jika juga diperlukan air untuk menyiram kebun sayuran yang mendukung penghidupan pemiliknya. Tingkat pendidikan formal ternyata tidak mempengaruhi pola konsumsi, kecuali jika dipakai sebagai alat untuk mencapai kekayaan materi. Seringkali tanah miring ternyata mempunyai pengaruh terhadap isi air yang dibawa, baik karena diperlukan tenaga yang lebih banyak untuk membawanya, maupun karena adanya pola tata guna tanah yang berbeda-beda pada tanah miring dalam hal pengairan kebun yang melibatkan teknik pertanian yang berlainan. Untuk menghitung korelasi berbagai faktor diperlukan analisis yang menyeluruh pada lokasi.



Pada umumnya, bekerja langsung di lokasi sehingga dapat segera bereaksi terhadap masalah-masalah fisik dan budaya akan dapat membantu pembuatan rancangan yang tepat. Tabel 8.2. mengemukakan ringkasan dari beberapa faktor korelasi yang sangat luas.

### Implikasi Sosial

Perubahan kebijaksanaan negara-negara industri terhadap negara berkembang dalam menentukan bantuan yang tepat, pada dasarnya terjadi setelah Bank Dunia mengadakan sejumlah penelitian yang dilaksanakan di daerah pedesaan -- bukan di Amerika Serikat ataupun di Eropa. Rekomendasi

**Tabel 8.2.** Air yang tidak disalurkan: hubungan koefisien faktor-faktor yang berkaitan dengan konsumsi air total dan per kapita (White dkk., 1972)

FAKTOR	Konsumsi Total			Konsumsi Per Kapita		
	semua r. t.	dengan hujan	tanpa hujan	semua r. t.	dengan hujan	tanpa hujan
Penghuni rumahtangga	0,375	0,484	0,440	-0,201	-0,424	-0,320
Anak-anak	0,229	0,335	0,256	-0,223	-0,415	-0,371
Kamar	0,293	0,245	ns	0,114	-0,302	ns
Indeks	0,466	0,370	0,333	0,294	0,189	0,151
Peralatan						
Indeks	0,226	0,191	0,297	0,019	-0,112	ns
pendidikan						
Biaya	ns	ns	ns	0,026	ns	ns
per liter						
Biaya total	0,374	(0,454)	0,309	0,114	(0,285)	0,247
Biaya per kapita	0,193	(0,282)	0,187	0,171	(0,421)	0,402
Ukuran						
tempat air	0,285	ns	0,524	0,333	ns	0,441
Jarak	-0,074	ns	ns	-0,092	ns	ns
Perbedaan	ns	ns	ns	-0,071	ns	ns
ketinggian						
Waktu	-0,114	ns	ns	-0,111	ns	ns
Tenaga yang digunakan	0,076	ns	ns	-0,071	ns	ns

yang serupa sebenarnya telah dikemukakan sebelumnya oleh lembaga-lembaga nasional Swedia, Jerman dan lain-lain.

Barangkali ada baiknya untuk mengutip sebagian hasil penelitian tersebut, karena secara ringkas meliputi pengalaman dari tempat lain. Hasil-hasil tersebut nampaknya cukup jelas dan masuk akal. Ternyata, kebanyakan pendapat dan reaksi publik ada di luar jangkauan dunia teknik modern. Misalnya,

- "Sebagian besar lingkungan dianggap sehat karena alasan-alasan yang tidak ada hubungannya dengan sanitasi. Di pemukiman kumuh, suatu lingkungan akan dianggap sehat jika perorangan mendapat kebebasan pribadi dan ditandai dengan adanya hubungan yang baik antartetangga. Suatu lingkungan sehat ternyata tidak dihubungkan dengan teori-teori abstrak mengenai vektor penyakit atau kontaminasi melalui kontak dengan patogen-patogen yang tidak tampak, yang terdapat dalam air atau sampah, dan sebagainya.
- Kebanyakan orang percaya bahwa kualitas air itu akan baik kalau air kelihatan bersih. Warna, rasa dan bau air merupakan kriteria yang penting; hanya sedikit sekali yang percaya bahwa air yang baik ialah air yang telah dimasak terlebih dahulu, yang tidak menimbulkan penyakit, setiap orang minum air tersebut, yang telah diproses terlebih dahulu, atau mereka melihat sendiri proses itu di laboratorium lapangan.
- Konsumen mulai menyadari adanya hubungan antara air dan kesehatan jika pelayanan teknis yang selama ini selalu ada tiba-tiba dicabut.
- Dua macam kualitas utama dalam penyediaan air ialah jumlahnya yang melimpah dan letaknya dekat dengan konsumen. Sedang dua faktor yang paling tidak disukai dalam peningkatan mutu penyediaan air ialah biaya yang harus dibayar serta terjadinya pertengkaran dan harus berdesak-desakan dengan tetangga apabila hanya disediakan satu keran air minum untuk sekian banyak rumahtangga. Akibatnya, seringkali perluasan pergaulan yang mungkin terjadi sewaktu bersama-sama mengambil air malahan menjadi sebaliknya, dan ini dianggap mempunyai nilai negatif.
- Dalam masyarakat di mana keran umum telah digunakan, kebanyakan rumahtangga menginginkan agar lebih banyak keran umum dibangun di tempat yang letaknya lebih dekat ke rumahnya, atau bahkan disalurkan ke rumah. Jika keran umum letaknya berdekatan dan jika saluran pribadi ternyata memerlukan tambahan biaya, mereka lebih menyukai alternatif yang lebih murah dengan menggunakan

pipa yang disalurkan ke dalam drum yang ditempatkan di dekat rumah. Banyak yang menginginkan keadaan lebih baik lagi, yaitu mengadakan pelayanan lain seperti klinik kesehatan, penyediaan air yang lebih baik, sistem pembuangan/saluran got. Di desa pun sudah ada minat untuk mendapat kemudahan "modern" karena dianggap sebagai suatu status simbol.

Kepadatan penduduk menimbulkan perkampungan kumuh sekaligus kebutuhan akan kebebasan pribadi. Tekanan sosial menimbulkan keputusan-keputusan bersama yang diambil secara musyawarah dari pendapat-pendapat yang dikemukakan para tokoh desa dan kepala keluarga.

Di hampir semua masyarakat yang pernah diteliti, penduduk sering mengemukakan saran-saran yang konkret untuk memperbaiki sistem penyediaan air yang ada atau fasilitas sanitasi. Sementara kurangnya sumberdaya ekonomi sering merupakan alasan tidak dilaksanakannya gagasan-gagasan perbaikan, lemahnya kepemimpinan serta kurangnya pengetahuan teknis juga sering disebut-sebut sebagai penyebab. Penduduk lebih suka menyumbangkan waktu untuk memperbaiki fasilitas sanitasi, daripada harus membayar jumlah yang agak besar. Penduduk pedesaan menyatakan senang bekerja dengan siapa saja atau dengan semua anggota masyarakat. Mereka yang tidak suka bekerja sama dengan yang lain untuk menambah persediaan air hanya sebagian kecil saja, dan alasannya karena pernah mengalami hal yang tidak menyenangkan, terlalu miskin, atau mengatakan fasilitas sekarang sudah cukup baik atau dekat dengan rumahnya.

Masyarakat mungkin menganggap nilai untuk persatuan dan kemajuan lebih penting daripada kebersihan dan sanitasi dalam proyek-proyek yang telah disetujui mereka. Biaya yang dikeluarkan dan juga waktu, kadangkala dianggap kecil dibandingkan dengan beban tekanan sosial, hilangnya kemauan baik dan menurunnya semangat persaudaraan, sehingga proyek dapat gagal.

Meskipun wanita mempunyai peranan penting dalam penyediaan air untuk keluarga dan sistem pembuangannya, seperti juga mengajarkan cara-cara kebersihan dan melatih kebersihan diri dan sanitasi kepada anak-anaknya, tetapi seringkali mereka tidak dilibatkan dalam tahapan perencanaan dan pengembangan pekerjaan teknis program tersebut. Hal ini terjadi karena adanya adat kebiasaan yang tidak pernah mengikutsertakan wanita dalam membuat keputusan di keluarga."

Kutipan di atas hanyalah contoh yang diambil dari kesimpulan dan rekomendasi yang dikumpulkan Bank Dunia. Meskipun dikumpulkan dari berbagai penjuru dunia, sungguh mengherankan bahwa pendapat tersebut menunjukkan sikap manusia yang serupa dan berlaku untuk seluruh dunia. Barangkali kalau penulis mengadakan penelitian serupa seratus tahun yang lampau di sebuah desa di Jerman, akan mendapat jawaban yang serupa, walaupun berasal dari kebudayaan yang sama sekali berbeda.

### **Beberapa Aspek Kesehatan**

Kesehatan sering disebut-sebut sebagai alasan yang paling jelas dan langsung untuk meningkatkan sistem penyediaan air di pedesaan. Karena keterbatasan modal, pemerintah terpaksa harus memilih strategi pembangunan yang dapat memberikan manfaat sosial yang paling besar. Cara mudah untuk menghitung besarnya manfaat ialah dengan menghitung biaya medis dan/atau kerugian pemasukan karena tidak bekerja akibat sakit, lalu membandingkannya dengan biaya yang diperlukan untuk penyediaan air. Metode ini memang kedengarannya kasar, namun sudah merupakan suatu patokan. Kita semua berpendapat bahwa kesehatan tidak boleh mempunyai label harga. Akan tetapi seluruh dunia mengakui hanya si kaya yang dapat membayar kesehatannya. Misalnya saja, upaya yang dilaksanakan untuk memperbaiki kondisi kesehatan penduduk miskin selama dan sesudah periode "revolusi industri" di Eropa, jelas tidak didorong oleh gagasan-gagasan Kristen, namun karena orang sakit jelas tidak dapat bekerja. Untuk alasan yang serupa -- karena sebagian besar penduduk dunia tinggal di wilayah pedesaan di negara berkembang dan kekurangan fasilitas air bersih, dan karena penyakit-penyakit yang paling berbahaya kebanyakan datang dari air -- maka pendapat yang mengatakan bahwa ekonomi dan kesejahteraan negara-negara berkembang sangat tergantung pada fasilitas air minum dan sanitasi yang aman dan bersih, nampaknya dapat dibenarkan. Diperkirakan bahwa sebanyak 1,5 milyar penduduk negara berkembang (yang merupakan 40% dari seluruh penduduk dunia), terkena penyakit-penyakit tersebut. Tabel 8.3. memberikan klasifikasi ringkas dari penyakit yang ditularkan oleh air (mungkin ada klasifikasi lain, misalnya berdasarkan penyebabnya seperti virus, bakteri, helminthis atau protozoa). Kelas pertama yang diperkenalkan ialah bibit penyakit yang "terkandung dalam air". Air bertindak sebagai alat pasif bagi bibit penyakit yang berhasil masuk dan hidup dalam air minum sampai akhirnya terminum dan masuk ke dalam perut. Bakteri penyakit tifus dan paratifus,

kolera dan tularemia, amuba penyebab disentri, virus dan bahkan leptospira mungkin tersebar dengan cara seperti ini, sehingga terjadi kasus epidemi yang klasik. Jenis klasik ini ditandai oleh ambang infeksi yang rendah yang menulari sumber luas; ironisnya, pada zaman modern ini, bahkan sistem penyediaan air pipa (PAM) juga kadang-kadang merupakan "sumber luas".

"Penyakit-penyakit yang dihanyutkan air" merupakan kategori kedua. Termasuk di antaranya kudis dan scabies kulit, di mana organ gastrointestinal juga dapat terkena sehingga timbul diare. Penyakit ini termasuk dalam definisi umum untuk penyakit infeksi yang terbawa oleh air yang dapat ditanggulangi dengan meningkatkan persediaan air tanpa harus memperbaiki kualitasnya. Berikutnya ialah penyakit-penyakit yang "hidup di air" yang disebabkan oleh spesies yang sebagian dari daur hidupnya tinggal dalam tubuh manusia. Daur hidupnya mungkin berasal dari telur cacing yang menetas menjadi larva dan berkembang dalam tubuh binatang yang hidup di air, seperti siput atau binatang berkulit keras. Contoh yang paling dikenal ialah cacing Guinea dan schistosomiasis. Ciri khas dari penyakit yang terkandung dalam air ialah berkembang biak dalam air, karena

Tabel 8.3. Penyakit-penyakit yang ditularkan melalui air

Mekanisme perpindahan	Nama penyakit	Strategi Pencegahan
Terkandung dalam air	Kolera, tifus, disentri baksiler hepatitis menular	Memperbaiki kualitas air, mencegah pemakaian sumber yang terkena polusi penyaluran mengenai sebab-akibat.
Hanyut terbawa air	Trachoma, scabies, disentri, demam oleh kutu air	Meningkatkan jumlah air, kemudahan mendapat air, penyaluran mengenai kebersihan.
Hidup di air	Schistosomiasis (Bilharziasis), cacing Guinea	Mengurangi persentuhan dengan air, pengawasan siput air, penyaluran meng. daur hidupnya.
Vector serangga melalui air	Malaria, penyakit tidur, Onchocerciasis	Memperbaiki manajemen permukaan air, menghancurkan habitat hidupnya, membatasi kunjungan di sekitar lokasi habitat.

mereka tidak dapat menghabiskan daur hidup mereka dalam manusia, mereka tidak berkembang dengan baik dalam diri manusia seperti halnya bakteri dan virus. Kategori terakhir adalah "vektor serangga melalui air", yaitu jenis serangga yang banyak terdapat dan berkembang biak di lingkungan air dan memindahkan penyakit. Mereka merupakan penyebab penyakit malaria, yellow fever, penyakit tidur dan penyakit-penyakit lain. Penulis mohon maaf karena hanya dapat menyinggung saja masalah ini, namun nanti akan dibahas dengan lebih mendalam. Menerapkan teknologi tepat-guna juga berarti bahwa implikasi ekologi dan langkah-langkah teknik juga dikenal, misalnya lokasi yang cocok untuk pengambilan air dari dalam tanah sudah dikenal, sifat-sifat biologi dari media filter yang khusus untuk daerah tropis, pencegahan terjadinya genangan air selokan yang dapat menjadi habitat berkembang biaknya bibit penyakit, terutama di sekitar lokasi mata air umum, dan sebagainya. Tabel 8.4. menunjukkan data mengenai perkiraan persentase pencegahan penyakit yang disebabkan oleh meningkatnya fasilitas persediaan air berdasarkan penelitian yang diadakan di Afrika Timur.

### Rancangan yang Tepat

Seperti yang telah dikemukakan di atas, ada banyak alasan yang menyebabkan apa yang disebut "teknologi tepat-guna" akhir-akhir ini menjadi populer; antara lain gagalnya banyak teknologi maju yang diterapkan di bagian dunia yang tekniknya belum maju, kebutuhan untuk menghemat modal serta pemeliharaan yang sederhana dengan mencari pemecahan teknis yang tidak begitu canggih, dan pengakuan bahwa pengetahuan/teknik pribumi yang sudah maju lebih baik daripada patokan luar negeri. Di lain pihak, memang ada kemampuan untuk menerapkan pengetahuan ilmiah Barat yang maju untuk menciptakan gagasan teknik baru yang kemudian dapat disebut "teknologi tepat-guna". Di samping itu terdapat contoh-contoh cara penyelesaian yang mirip dengan teknologi baru dari negara industri. "Filtrasi pasir-lambat" (*Slow sand filtration*) untuk membersihkan air yang terkena sedikit sedikit polusi, sering dikutip dalam hubungan ini. Teknologi ini biasa dipakai dalam hampir semua sarana air di seluruh Eropa sampai sekarang, dan sekarang teknik filtrasi pasir-lambat juga diterapkan di Kampala untuk air yang berasal dari Danau Victoria, di Bujumbura untuk menyaring air dari Danau Tanganyika serta di tempat-tempat lain. Perbedaan yang mencolok ialah bahwa di daerah tropis aktivitas biologi pada permukaan paling atas penyaring lebih

**Tabel 8.4.** Proporsi pencegahan penyakit yang ditimbulkan dari air di Afrika Timur (White dkk., 1972)

Diagnosis	Jika suplai air bagus, % penyakit yang berkurang	Diagnosis	Jika suplai air bagus, % penyakit yang berkurang
Tifus perut, paratifus dll	80	Trachoma	60
Salmonela	40	Trypanosomiasis gambiensi	80
Disentri Baksiler	50	Trypanosomiasis, semua jenis	10
Amubiasis	50	Panu	50
Desentri semua jenis	50	Kudis	80
Tifus karena kutu	40	Radang mata	70
Schistosomiasis kemih	80	Otitis Eksterna	40
Schistosomiasis usus	40	Karang gigi	10
Schistosomiasis, semua jenis	60	Gastroenteritis, 2mg.s/d 2th.	50
Cacing gelang	40	Gastroenteritis, 2 th. ke atas	50
Cacing Guinea	100	Penyakit infeksi kulit dan bawah kulit	50
Demam hilang-timbul karena kutu	40	Ulcus kulit (kaki) kronis	40
Leptospirosis	80	Mencoret pada bayi	50
		Yaw	70
TOTAL			

intensif akibat adanya mikro-organisme serta kinetiknya yang berbeda-beda. Lagi pula ganggang yang berkembang di musim hujan menyebabkan perlunya diberi penyaring mikro untuk mencegah terjadinya penyumbatan pada filter. Namun hampir semua perincian rancangan teknik filtrasi pasir-lambat buatan Eropa dapat dialihkan secara efektif.

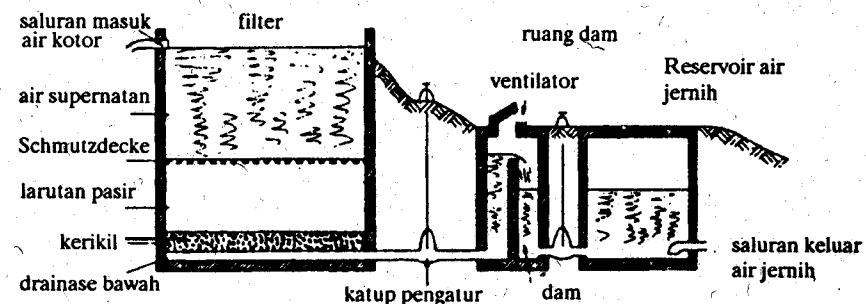
Konsep dasarnya dapat juga dipakai untuk membangun suatu proyek pemurnian air yang agak sederhana dengan menggunakan masukan bahan dan tenaga setempat. Gambar 8.2. menunjukkan skema konsep teknik dasar yang masih dapat diperluas dengan rancangan yang sesuai dengan kebutuhan setempat.

Topik lain yang sering dikemukakan para penulis, karena merupakan masalah utama yang timbul pada setiap awal proyek penyediaan, ialah

perancangan struktur pengambilan air dari sungai, danau atau kolam. Peletakan pipa penghisap ke dalam air, terbukti sebagai suatu penyelesaian jangka pendek. Dengan demikian, "tindakan cepat" harus segera diambil, sehingga para pakar organisasi WHO, UNDP, Bank Dunia, segera diterbangkan ke negara itu agar dapat, barangkali, menciptakan sebuah rancangan yang tepat seperti yang terlihat dalam Gambar 8.3. di bawah ini. Jika terdapat variasi permukaan air barangkali diperlukan jalan penyelesaian yang lebih "canggih" yang dapat dibuat setempat (Gambar 8.4.).

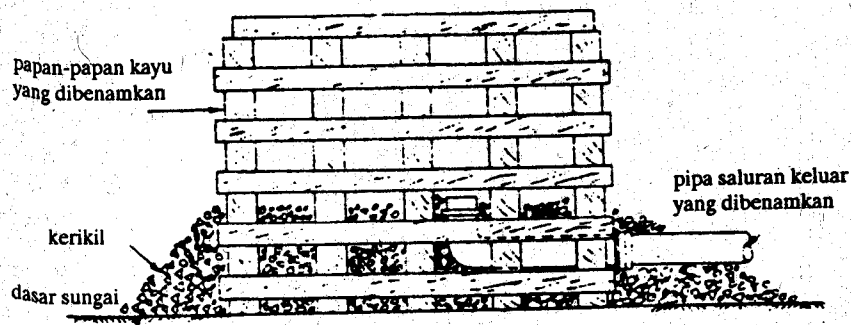
Berbagai rincian mengenai pengambilan air masuk harus diamati, dan informasi yang diperlukan untuk itu paling baik diperoleh dari sumber setempat. Untuk ini akan menguntungkan sekali jika penduduk setempat diwawancarai, dan buah pikiran mereka dimanfaatkan. Contohnya, lokasi yang dipilih untuk pengambilan air sungai di Daboasi, Ghana, ternyata kurang tepat karena pasang yang terjadi di muara kadangkala menggiring konsentrasi garam ke sini. Rupanya tatkala para insinyur perencana melakukan penelitian selama beberapa bulan, konsentrasi garam pada sungai ini belum pernah melampaui batas. Pemecahan yang tepat ialah dengan membangun bendungan pendek melintang sungai atau menempatkan pipa penghisap air pada belokan sungai. Contoh lain yang terjadi tidak jauh dari sini ialah bahwa sungai kadang-kadang mengalami kekeringan (walaupun jarang terjadi). Selama musim kemarau, pasir dan batu-batuan yang terdapat di dasar sungai sering bertindak sebagai akuifer, sehingga jalan keluarnya ialah dengan membangun sumur pengambilan air di dasar sungai atau agar lebih mudah di pinggir sungai.

Siapa pun yang pernah menyelenggarakan proyek seperti ini di negara berkembang, dapat saja membuat daftar contoh proyek di mana para

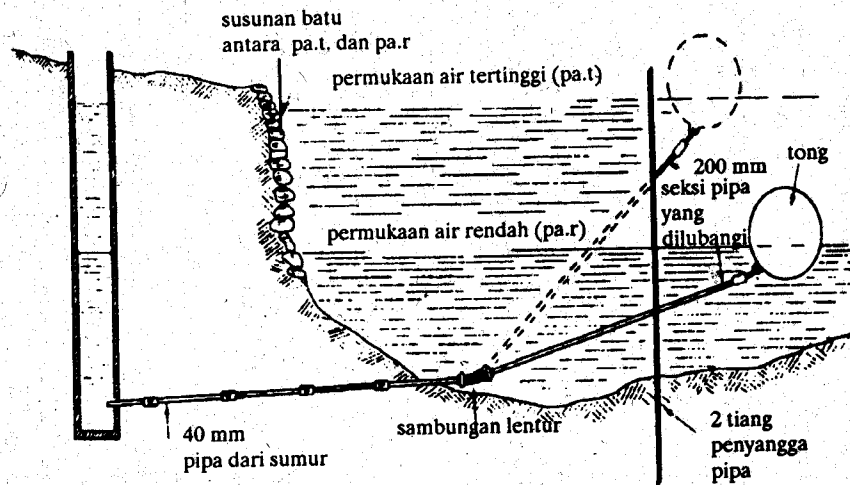


**Gambar 8.2** Filter pasir-lambat kecil (Feachem dkk., 1977)

### Memfaatkan Air Limbah



Gambar 8.3. Papan-papan kayu pada sungai yang diambil airnya (Feachem dkk., 1977)



Gambar 8.4. Sumur dan pengambilan air terapung untuk kolam yang ada (Feachem dkk., 1977)

insinyur asing maupun pribumi sudah pernah menerapkan patokan-patokan yang tidak sesuai ataupun tidak pernah berusaha mendapatkan semua informasi setempat yang tersedia.

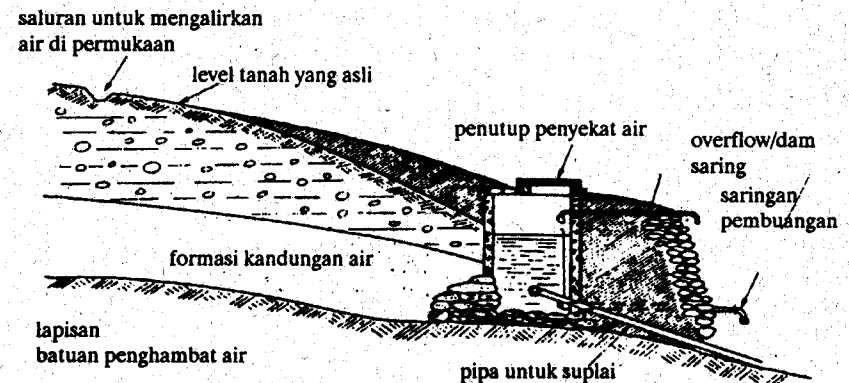
Contoh struktur penting lain untuk membantu meningkatkan kualitas dan mencegah polusi pada daerah aliran dan sumber air, terlihat pada

### Teknologi Tepat Guna bagi Masyarakat Pedesaan

Gambar 8.5 di bawah ini.

Tujuannya di sini ialah untuk mencegah berkembangnya sarang-sarang vektor dan juga untuk melindungi sumber air dari polusi yang diakibatkan oleh manusia itu sendiri; selain itu, struktur ini dapat mempertahankan aliran air mencapai desa secara sempurna.

Topik umum lainnya yang terinci pelaksanaannya yang telah dikumpulkan dan dikembangkan oleh para pakar dan penasehat setempat serta pernah diuji di lapangan ialah konstruksi dan pengoperasian sumur dangkal dan rehabilitasi sumur yang sudah ada. Contoh-contoh berikut ini (Gambar 8.6. dan 8.7.) mungkin dapat memberikan petunjuk pemecahan yang memberi kemungkinan. Seringkali spesifikasi pompa tangan mendapat perhatian khusus. Seperti yang pernah dialami pemerintah Kanada dan Jerman dalam rangka bantuan pengadaan air minum dari sumur dangkal bagi penduduk pedesaan Ghana, hampir 5.000 sumur terbenam, oleh karena itu diselenggarakan pemilihan yang sangat hati-hati untuk mendapatkan jenis pompa tangan yang tidak mudah rusak, mudah pemeliharaannya, dan dapat dijalankan oleh wanita dan anak-anak, dan sebagainya. Agaknya tidak terlalu mengherankan jika akhirnya sejenis pompa tangan India terpilih dalam penawaran ini. Sebenarnya daftar pelbagai rancangan serta rincian yang dikembangkan di berbagai wilayah di dunia, khusus untuk memompa air dari sumur dangkal dapat memenuhi sebuah buku. Terutama di negara dengan sistem irigasi yang telah diterapkan sejak zaman kuno, kecanggihan serta variasi dari teknologi "tepat-guna" untuk mengangkat air dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi telah dikenal dan harus dipelajari dulu oleh para

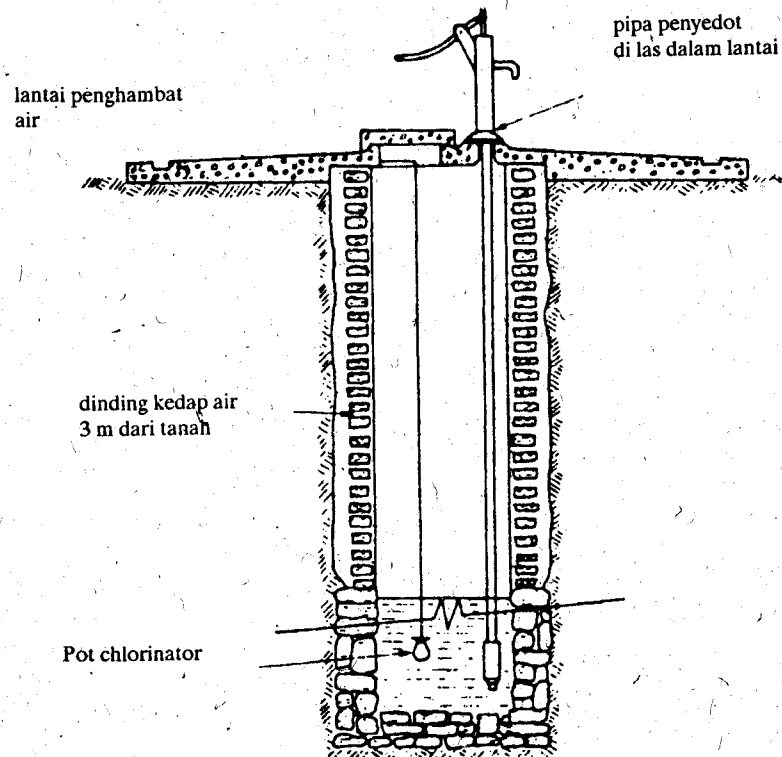


Gambar 8.5. Perlindungan sumber air (Feachmen dkk., 1977)

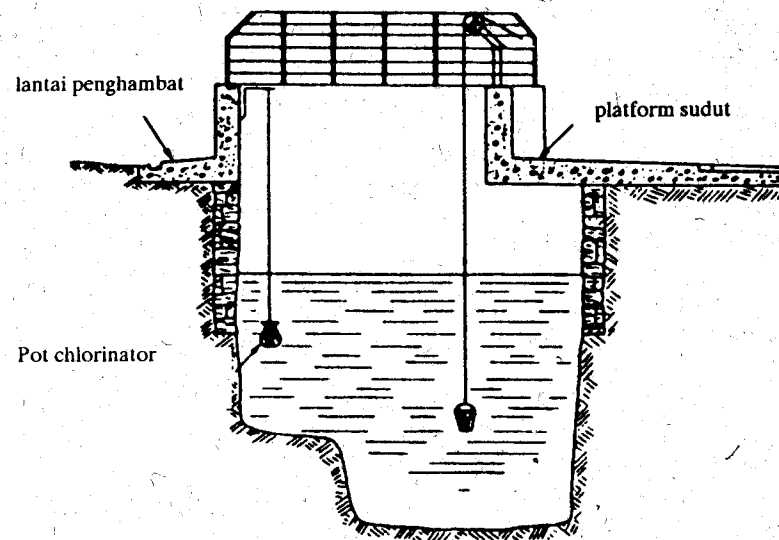
pakar asing sebelum mereka mengajarkan sistem ini.

Pembahasan tentang penyimpanan air di negara-negara panas dan kering kiranya perlu juga dikemukakan. Sistem penyimpanan permukaan yang biasa diterapkan dengan efektif di belahan bumi sebelah utara, ternyata penuh dengan masalah bila diterapkan di wilayah tropis. Suatu waduk atau bendungan memang mudah dibangun dengan menggunakan bahan-bahan alam. Hasilnya nanti merupakan alih-teknologi langsung dari Barat, dan hal ini dapat menimbulkan banyak masalah.

Untuk menghindari penguapan yang tinggi, permukaannya dapat ditutup dengan lapisan film kimia, seperti lapisan minyak atau bahkan lembaran plastik. Metode terakhir sering digunakan pada waduk air bersih yang kecil. Percobaan-percobaan sedang dilakukan dengan tanaman



Gambar 8.6. Galian sumur dengan pompa tangan (Feachem dkk., 1977)



Gambar 8.7. Konversi sumur berserambi luas menjadi sumur sedot (Feachem dkk., 1977)

enceng gondok (*hyacinthus* air) yang menutupi seluruh permukaan air dan sekaligus dapat menghilangkan polusi. Sedangkan untuk waduk dan kolam kecil yang dapat memasok kota atau masyarakat kecil, metode penyimpanan permukaan belum dapat dikembangkan, yang dapat diterima secara ekologi dan ekonomi, dan sekaligus dapat menghindari masalah-masalah pengendapan lumpur (*silting*), penguapan dan eutrofikasi.

Akan tetapi, sebagai strategi alternatif dapat dipakai sistem penyimpanan subpermukaan yang merupakan jalan penyelesaian yang "tepat" dan dapat berjalan baik di negara tropis, walaupun di negara belahan utara belum ditemukan strategi yang serupa. Sistem penyimpanan subpermukaan ini dapat menghindari dampak mengganggu dari sistem penyimpanan permukaan di negara tropis seperti yang dikemukakan di atas, asal kondisi geologinya cocok. Sungai-sungai tropis yang mengalir deras dan meluap selama dan sesudah musim penghujan, dasar sungainya sering ditumpuki pasir, kerikil dan batu-batuan yang dapat berfungsi sebagai akuifer. Suatu bendungan subpermukaan yang terbuat dari semen dapat dibuat melintang sungai sebagai penyimpanan sebelah bawah. Struktur ini relatif mudah untuk dibuat dan dipelihara, dan sangat efektif, sehingga makin banyak saja



yang menerapkan sistem ini. Seringkali ditemukan pengetahuan pribumi, terutama di Afrika, tentang cara mengambil air dari sumur yang digali dekat sungai, sehingga, dari posisi yang aman, dapat memanfaatkan kemampuan pasir memurnikan air serta kemampuan bahan-bahan akuifer di sungai dalam mengalirkan dan menyimpan air.

Dalam konteks yang sama kiranya perlu juga dikemukakan teknik infiltrasi di mana suspensi lumpur dan bahan organik dapat diangkat dari air sungai dengan memanfaatkan sifat penyaringan dari lapisan pasir alami. Sederetan sumur dan selokan dapat menerima aliran air sungai yang kemudian terserap dalam tanah lalu dipompa lagi dari sumur lain dalam bentuk air murni. Teknik ini telah dikembangkan di banyak negara di dunia, di Srilangka maupun di sepanjang Sungai Rhine; juga diterapkan di lembah Sungai Nil menjelang akhir musim banjir.

Di negara tropis ditemukan sistem manajemen kuantitas air yang lebih tradisional lagi. Suatu sistem yang mungkin berasal dari Wilayah Laut Tengah, yaitu membuat bak air di bawah tanah untuk mengumpulkan air hujan, telah berhasil diterapkan di Kepulauan Karibia, misalnya, dan bahkan di beberapa tempat masih bekerja dengan baik. Di tempat-tempat lain, situasinya lebih sulit karena gagasan teknologi "tepat-guna" sudah ditinggalkan dan sekarang menggunakan pompa (yang diambil dari akuifer yang sangat dangkal/tipis). Penulis sendiri, tatkala mengikuti suatu misi UNDP di Bahama, pernah dikritik oleh pemerintah setempat karena menyarankan sistem bak air bawah tanah dan mempertahankan kincir-kincir angin tua yang ada untuk mendorong pompa air mengingat angin Bahama yang terkenal sepanjang tahun itu. Ratusan juta dolar Amerika sekarang ini diinvestasikan negara-negara Barat untuk menyelenggarakan penelitian-penelitian yang berkaitan dengan alternatif energi, termasuk di antaranya kincir angin.

#### **Cara Tradisional dengan Perencanaan Modern**

Kali ini penulis ingin mengemukakan dua masalah lagi yang berhubungan dengan topik penyediaan air di wilayah pedesaan. Yang pertama mengikuti dugaan sebelumnya tentang teknik-teknik yang dikembangkan secara paralel maupun independen di berbagai wilayah di dunia. Jika diringkaskan, sebenarnya hampir tidak satu pun teknik pemurnian air modern yang sebelumnya belum pernah dikenal atau diterapkan secara tradisional. Justru kebalikannya yang nampaknya mustahil; banyak cara pembersihan air tradisional yang sudah tidak diterapkan lagi; namun masih

banyak lagi yang kemampuan tekniknya belum ditemukan.

Filtrasi melalui kendi-kendi tanah liat diperkirakan berasal dari Yunani dan barangkali penggunaannya menyebar ke Persia dan Mesir di zaman kuno. Aristoteles menganjurkan membuat filtrasi air dari tembikar yang terbuat dari campuran tanah liat dengan zeolit. Variasi modern dari teknologi ini ialah filtrasi keramik dengan ukuran pori-pori yang berbeda-beda. Tentu saja penyumbatan dapat terjadi jika konsentrasi suspensi zat padatnya terlalu tinggi. Dalam suatu program latihan yang diselenggarakan oleh UNESCO di Volta Atas untuk memperkenalkan kembali teknologi-teknologi sederhana, penduduk diharuskan menciptakan suatu sistem filter yang terbuat dari pot tembikar yang diisi oleh lapisan-lapisan pasir, kerikil dan arang. Filter ini bekerja dengan baik untuk beberapa waktu. Akan tetapi bila musim hujan tiba, derasnyanya air hujan yang turun menyebabkan penyumbatan pada filter dan karena itu ditinggalkan begitu saja oleh kaum wanitanya. Ternyata, pengetahuan yang diberikan secara teori kepada mereka kurang memadai. Filtrasi melalui pot tembikar akan efektif bila menggunakan sejenis tanah liat yang cocok, dan teknik pembuatan tembikarnya sudah lebih maju, termasuk penggunaan tungku, dan bukan dibakar di udara terbuka. Di beberapa wilayah Afrika, tembikar barangkali hanya digunakan oleh penduduk dari kelas bawah. Misalnya, kendi tembikar yang dipakai di daerah pedesaan Sudan sebelah utara dan tengah, hanya dibuat oleh wanita dari suku Sudan sebelah barat dan suku-suku bangsa yang jauh di wilayah Chad dan Nigeria sebelah utara. Beberapa jenis kendi impor bahkan dianggap barang mewah oleh orang-orang kaya; kendi filter dari Mesir sangat digemari di Sudan dan sering dipajang di kantor-kantor pemerintah, di stasiun kereta api, sekolah-sekolah, dan lain-lain.

Tidaklah mengherankan jika pengetahuan ekologi dan penerapan mekanisme ekologi dari cara pemurnian air dapat ditemukan di mana-mana di negara berkembang. Misalnya, beberapa tanaman air telah dikenal dapat mempercepat proses pembersihan air secara alami. Di sebagian besar wilayah Afrika terdapat tanaman tertentu yang hidup di pinggir-pinggir sungai yang dapat memurnikan air. Di India, air yang diambil dari waduk yang ditanami teratai lebih disukai. Akar-akarnya membantu proses pelapukan bahan-bahan organik. Tanaman air yang mirip teratai ditanam pada kolam dan sumur yang telah terkena polusi air limbah. Tanaman enceng gondok, yang pernah dikemukakan sebelumnya sebagai alat yang kuat dalam pengolahan air limbah, sekarang ini sedang diteliti sebagai tanaman percobaan untuk penerapannya secara sistematis. Hadirnya sejenis

ikan juga dapat menunjukkan tingkat kualitas air; sedangkan di Srilangka dan Thailand penyu dipelihara dalam waduk-waduk penampung di mata air.

Untuk keperluan pembersihan air, yang dalam istilah modern disebut "koagulasi", penduduk desa di wilayah Kaho, Nigeria, menambahkan sepotong kayu dari sejenis pohon ke dalam air, setelah menunggu beberapa waktu untuk bereaksi, barulah air yang sudah dibersihkan itu diambil. Di Tanzania, daun-daunan dipakai untuk membersihkan air berlumpur. Bangsa nomaden Afganistan menaruh potongan-potongan akar *calamus* ke dalam air, jenis yang sama juga digunakan oleh bangsa Mongol yang dulu suka menanamnya dekat tempat-tempat sumber air mereka. Di beberapa negara Afrika Timur dan Barat, untuk menjaga supaya air yang dijunjung di atas kepalanya tidak tumpah, para wanita menutup permukaan air dengan daun-daunan yang membantu koagulasi; sistem serupa juga diterapkan oleh penduduk aborigin Australia yang menggunakan semacam rumput-rumputan. Berikut ini beberapa spesies yang dikenal sebagai koagulan yang secara tradisional digunakan oleh penduduk di wilayah masing-masing: *Moringa oleifera* (Nigeria, Senegal), *Annona senegaleasis* (Senegal, Tanzania), *Terminalia macroptera* (Senegal), *Mangifera indica* (Senegal, Gambia), *Combretum* (Sudan sebelah selatan), *Ficus* (Tanzania).<sup>112</sup>

Di daerah pedesaan Chili, sejenis kaktus *tuna* diiris dan air perasannya dimasukkan ke dalam air; seperti yang dilakukan di Peru di mana potongan-potongan sejenis *phylloclades* digunakan untuk memurnikan air berlumpur.

Cara yang biasa dipakai bangsa Sudan untuk membersihkan air dengan tanah liat atau biji-bijian, misalnya *Moringa oleifera*, dimulai dengan mempersiapkan konsentrasi suspensi koagulan dalam botol air yang terbuat dari sejenis labu dan diaduk-aduk selama 10 sampai 30 menit. Kemudian suspensi dituang ke dalam air keruh, dibiarkan selama satu jam untuk proses koagulasi sampai airnya jernih. Untuk mencegah bau yang tidak diinginkan setelah pengolahan ini, suspensi bubuk biji-bijian ditaruh pada saringan teh. Bubuk biji-bijian ini juga dicelupkan ke air dalam kantong dari kain (prinsip kantong-teh celup). Campuran tawas lokal dengan biji-bijian sangat berhasil. Biji-bijian di sini termasuk jenis kedelai, kacang polong dan lentil (miju-miju); sebagai koagulan yang ampuh, juga bisa dipakai berbagai jenis tanah liat.

Metode campuran fisika-kimia yang dijumpai pada "cara tradisional" untuk pembersihan air, sangat rumit dan bermacam-macam. Abu dari tungku atau tanaman tertentu, misalnya kelapa, daun *eucalyptus*, dan lain-lain, juga pohon limau dan gips sering dipakai. Penyimpanan yang sekaligus

bertujuan untuk mengendapkan partikel yang sudah tersuspensi, sering dilakukan. Dengan mendidihkan air juga dapat dicapai efek purifikasi; benda panas seperti besi yang merah membara, pasir, granit dan basal yang panas, dicelupkan. Teknik filtrasi, baik yang menggunakan lapisan pasir alam di antara sungai dengan sumur tepian sungai maupun yang melalui kendi tembikar, telah dikemukakan di atas; efek pendinginan yang dihasilkan oleh proses penguapan air melalui pori-pori tembikar tentu saja sudah lama dikenal dimanfaatkan. Lagi pula sistem penyimpanan dapat mengurangi kontaminasi biologi, bahkan mengendalikan vektor penyakit; larva Bilharzia harus menemukan siput perantara dalam batas waktu sekitar 24 jam.

Dewasa ini penelitian sedang ditingkatkan untuk mempelajari teknik-teknik setempat yang ada dan menerapkan pengembangan yang tepat. Juga dilakukan upaya untuk memanfaatkan mekanisme pengendalian ekologi yang relevan dengan memanfaatkan atau mempertimbangkan secara khusus kondisi tropis. Siput *schistosomiasis* terbukti sering diserang oleh ikan (*Bangasius*) dan sebagian dikendalikan oleh ikan gurame herbivora yang bersaing untuk mendapatkan makanan dari jenis rumput yang sama; juga di Asia Selatan, ikan gurame porselen dilaporkan sering memakan siput. Yang sangat menarik ialah adanya tanaman air agak tinggi yang mempunyai kemampuan untuk memetabolisme polutan; jenis *calamus* dan alang-alang *bulrush* nampaknya mempunyai prospek yang cerah. Akan tetapi, yang paling dikenal ialah enceng gondok, yang barangkali berasal dari Amerika Selatan. Walaupun kemampuannya dalam menghilangkan polutan anorganik dan organik dari air limbah telah dikenal, penerapannya di daerah tropis masih menimbulkan masalah. Misalnya, penyebaran tanaman enceng gondok dapat menyebabkan penyumbatan pada selokan dan saluran air masuk, menghalangi pelayaran dan mengganggu penangkapan ikan di Mesir dan Sudan. Tanaman enceng gondok yang padat terapung dapat menjadi sarang ular, siput, nyamuk, dan lain-lain. Namun ada segi positifnya, yaitu dapat mencegah penguapan dan bahan organiknya dapat diambil dan diproses, misalnya untuk menghasilkan biogas; abunya dapat dipakai sebagai pupuk yang cukup baik.

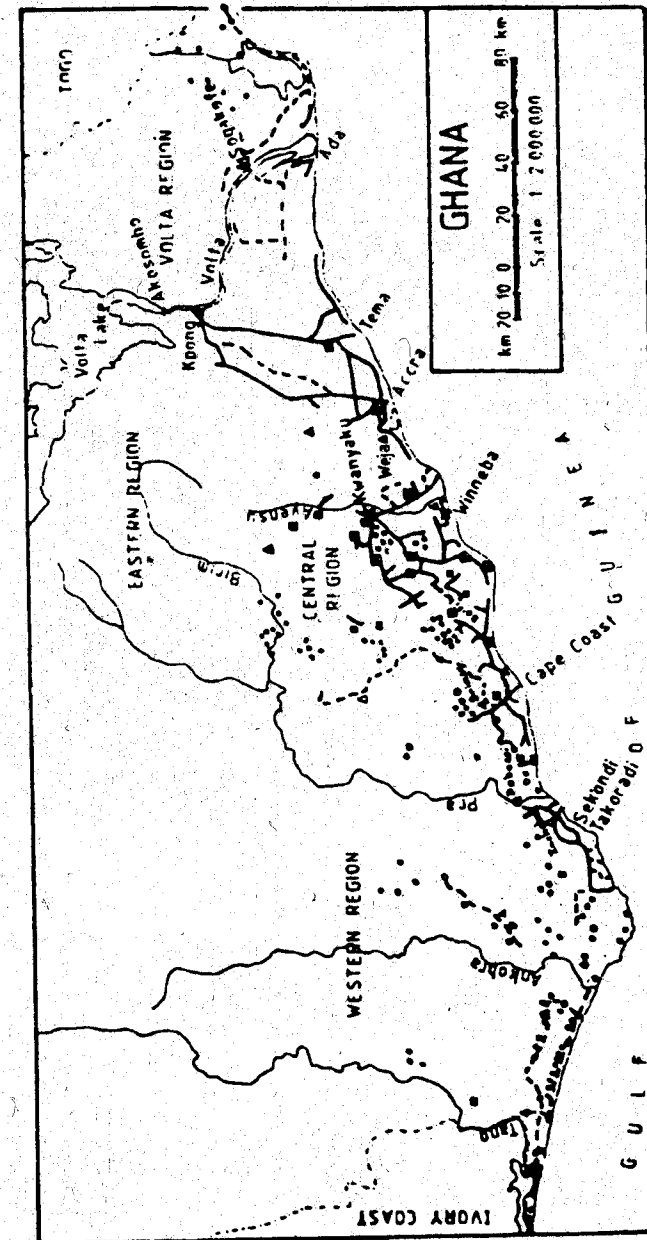
Dalam penjelasan di atas, penulis barangkali terlampau memberikan kesan seolah-olah kemampuan teknologi Barat kurang begitu menonjol, mungkin dalam beberapa situasi hal ini benar. Meskipun demikian, kemajuan-kemajuan yang telah dicapainya, selain yang dikemukakan terdahulu, juga sangat bermanfaat. Di negara berkembang sering terjadi bahwa perluasan perkotaan dengan kepadatan penduduk yang rendah dan berciri kehidupan pedesaan, mencapai wilayah jauh ke pedalaman.

Dengan demikian untuk menyalurkan air mungkin harus ditempuh jalan yang panjang sebelum sampai ke wilayah perkotaan. Sejumlah desa yang terletak di sepanjang saluran air itu juga harus dipasok.

Mengingat luas areal yang harus dikembangkan, maka segi ekonomi penyediaan air, penyaluran dan distribusinya biasanya akan cukup menonjol. Biaya untuk jaringan dasar suplai saja sudah sangat mahal, karena itu didambakan rancangan jaringan suplai yang biayanya optimal. Sebagian dari keuangannya barangkali berasal dari bantuan atau pinjaman asing dan internasional dan perencanaannya mungkin oleh pakar internasional. Dalam hal ini, kriteria perancangan yang tepat harus dipilih dengan hati-hati, termasuk kebutuhan air, jangka waktu rancangan, persyaratan penyimpanan dan tekanan; selain itu juga harus diperhatikan faktor-faktor ekonomi, seperti biaya investasi dan operasional, tingkat pertumbuhan, suku bunga, tarif air, begitu juga kemampuan membayar dari konsumen.

Sekarang ini telah dikembangkan model-model matematika dan metode pelaksanaan riset untuk mendapatkan penyelesaian yang optimal dalam sistem penyediaan air yang diperluas ke wilayah pedesaan dan perkotaan. Jika terdapat cukup banyak lokasi sumber dan suplai, saluran transmisi dan suplai, kriteria perancangan dan ekonomi, maka metode perancangan tradisional yang bersifat uji coba lebih baik jangan diterapkan.

Fungsi obyektif pada program optimalisasi yang resmi ialah menekan biaya investasi dan operasional sumber dan saluran suplai; sedangkan pembatas lainnya terdiri dari fungsi sistem hidrolik, diameter yang ada, kebutuhan aliran air dan tekanan minimum, grafik nodus penawaran dan permintaan, dan dari saluran suplai dan transmisi. Karena masalah matematika bersifat non-konvek, penyelesaian algoritma sangat rumit, karena melibatkan Program Linear dan Nonlinear, Teori Grafik dan Strategi Evolusi. Namun hasilnya memberikan diameter yang optimal, pengembangan sumber, tekanan pompa dan aliran air; dengan demikian hasilnya jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan perancangan konvensional. Lagi pula dapat ditentukan dengan tepat bagaimana setiap kriteria rancangan yang berbeda dapat mempengaruhi pemecahannya. Teknik programing matematika untuk mendapatkan susunan jaringan penyediaan air yang optimal telah berhasil diterapkan, baik di negara berkembang maupun negara industri. Untuk negara berkembang diperlukan penyaringan menyeluruh dari semua kriteria perancangan yang relevan. Karena perencanaan sistem ekstensif harus sering diperbarui, maka penghematan biaya melalui metode optimalisasi nampaknya tidak bisa dielakkan lagi. Sedangkan kriteria untuk negara industri lebih dipusatkan pada pengembangan jaringan wilayah, karena sistem suplai lokal yang terganggu oleh



Gambar 8.8. Sistem Penyediaan air yang ada dan direncanakan sepanjang wilayah Pantai Ghana (1978)

meningkatnya polusi sudah tidak dapat lagi memenuhi permintaan yang terus meningkat.

Gambar 8.8. menunjukkan wilayah Pantai Ghana dengan jaringan kota-kota besar yang hampir bersentuhan dengan jaringan pedesaan yang diperluas. Harapan yang sangat ambisius untuk mendirikan Jaringan Nasional untuk seluruh sistem suplai air, yang mulanya diusulkan oleh presiden Nkrumah, pernah diteliti oleh penulis untuk Badan Kerjasama Teknik Jerman. Ternyata gagasan ini, baik dari segi teknik maupun ekonomi, tidak dapat diterapkan. Akan tetapi, sebagian dari jaringan di sekitar kota kembar Sekondi-Takoradi harus diubah.

Sebagai kesimpulan, penulis ingin mengemukakan bahwa teknologi "tepat-guna" dapat memberikan berbagai gambaran yang berbeda-beda. Selain itu juga diperlukan orang-orang yang tepat untuk mengisi teka-teki perbedaan budaya dan teknik. Penulis mengharapkan agar pendapatnya dapat membantu memecahkan teka-teki tersebut.

#### Kepustakaan

1. Cairncross, S., I. Carruthers, D. Curtis, R. Feachem, D. Bradley, G. Baldwin. 1981. "Evaluation for Village Water Supply Planning," John Wiley & Sons.
2. Dieterich, B.H., J.M. Henderson. 1963. "Urban Water Supply Condition and Needs in Seventy-five Developing Countries," WHO, Geneva.
3. Feachem, R., M. McGarry, D. Mara (ed.). 1977. "Water, Wastes and Health in Hot Climates," John Wiley & Sons.
4. Jahn, S.A.A. "Traditional Water Purification in Tropical Developing Countries," German Appropriate Technology Exchange, Eschborn (akan terbit).
5. Pacey, A. (ed.). 1977. "Water for the Thousand Millions," Pergamon Press.
6. ----- (ed.). 1977. "Sanitation in Developing Countries," John Wiley & Sons.
7. The World Bank. 1980. "Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation," Washington D.C.
8. White, G.F., D.J. Bradley, A.U. White. 1972. "Drawers of water," The University of Chicago Press, Chicago.
9. Wilderer, P. 1981. "Anforderungen an Reinigungssystem und Reinigungsleistung biologischer Klaranlagen zur Gewinnung landwirtschaftlich verwertbarer Produkte," Bericht an die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

## Bab IX

### PENGALAMAN DALAM PERENCANAAN UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH DAN PEMBUANGAN SAMPAH\*

Heinz Kevin Antonny Sambur.

Heinz B. Braun

Dalam perencanaan pembuangan limbah dan sampah di negara berkembang, industri harus semakin dikaitkan dalam pemikiran untuk mengembangkan konsep pembuangan yang tepat-guna. Yang penting di sini ialah infrastruktur teknik pembuangan air limbah dan sampah di daerah industri; yang terutama penting ialah sejak kapan atau dalam ukuran bagaimana pembuangan yang desentralisasi dapat dianggap sebagai jalan keluar sementara atau sebagai jalan keluar jangka panjang. Model-model berikut ini dapat didefinisikan berdasarkan ukuran instalasi industri masing-masing pabrik atau daerah perindustrian, keadaan industri terhadap daerah-daerah permukiman yang berdekatan, serta konsep pembuangan dari daerah-daerah permukiman (Gambar 9.1.).

Di samping jumlah dan keadaan air limbah rumah tangga dan industri serta kemampuan selokan-selokan yang harus menampung air limbah, maka yang sangat menentukan dalam memilih proses pembersihan limbah ialah model pembuangan yang sudah ada atau yang akan diwujudkan dalam setiap kasus. Berikut ini akan diperkenalkan beberapa contoh perencanaan. Titik beratnya akan lebih banyak memaparkan latar belakang perencanaan umum, terutama mengenai konsep pembuangan umum di daerah industri, daripada penjelasan proses yang dipilih.

Diterjemahkan dari H. B. Braun, "Erfahrungen mit der Planung der Abwasserbehandlung und Abfallentsorgung."

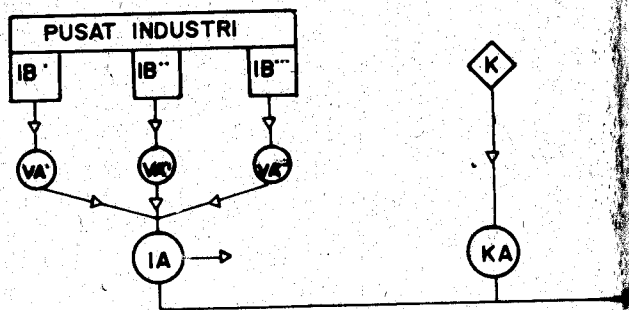
### Memfaatkan Air Limbah

- Model A : pabrik dengan pembuangan air limbah industri sendiri
- Model B : pabrik dengan kilang pembersih awal air limbah industri sedangkan pengolahan selanjutnya dalam kilang di daerah pemukiman terdekat
- Model C : daerah industri dengan kilang pembersih awal yang spesifik di tiap pabrik, sedangkan pengolahan selanjutnya dikilang bersama daerah industri
- Model D : daerah industri dengan kilang pembersih awal yang spesifik di tiap pabrik sedangkan pengolahan selanjutnya bersama dengan air limbah rumah tangga dalam kilang daerah pemukiman terdekat

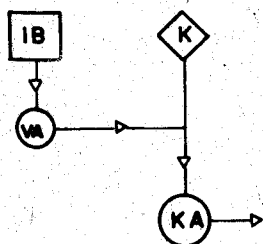
MODEL A



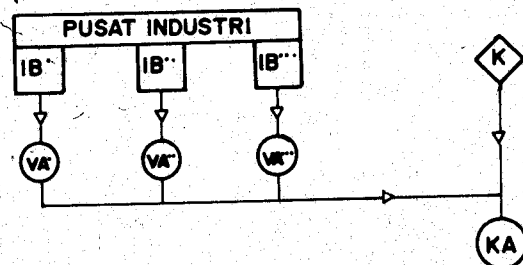
MODEL C



MODEL B



MODEL D



IB = usaha tiap-tiap industri  
 VA = instalasi pembersihan awal  
 KA = instalasi penjernihan daerah pemukiman  
 K = daerah pemukiman - kota

Gambar 9.1. Model-model untuk pengolahan air limbah industri

### Pengolahan Air Limbah dan Pembuangan Sampah

Contoh pertama diambil dari proyek di Lesotho, kerajaan kecil yang terletak di Afrika Selatan dan dikelilingi oleh Republik Afrika Selatan. Luasnya sekitar 30.000 km<sup>2</sup> dan penduduknya 1,4 juta jiwa dengan pendapatan per kepala sebesar US \$ 530, termasuk kelompok negara yang terkebelakang. 10,4% penduduknya, yaitu sekitar 146.000 jiwa hidup di daerah perkotaan. Dari jumlah itu sekitar 70.000 jiwa hidup di 13 ibukota propinsi. Di beberapa tempat situasi pabrik-pabrik yang ada juga harus turut diperhatikan. Khas untuk semua kota ialah situasi bangunan yang tersebar terpisah-pisah dengan kepadatan kurang dari 5 jiwa/ha. Jika jumlah penduduk dimasukkan ke masing-masing batas daerahnya, maka untuk daerah pemukiman yang sebenarnya kepadatan penduduk ialah antara 15 sampai 70 jiwa/ha. Pabrik-pabrik hanya ada di beberapa tempat, dan berdiri terpisah-pisah di daerah pinggiran. Pembuangan air limbah mengikuti konsep yang sangat heterogen. Dalam konsep ini terdapat sistem pembuangan yang bersifat sentral dan desentral dengan standar yang berbeda-beda, dan keduanya berjalan berdampingan. Dalam Gambar 9.2. digambarkan pembagian dari sistem pembuangan limbah yang bermacam-macam di daerah perkotaan dengan contoh kota Teyateyaneng yang berpenduduk 10.800 jiwa dan merupakan yang terbesar dari ke-15 proyek:

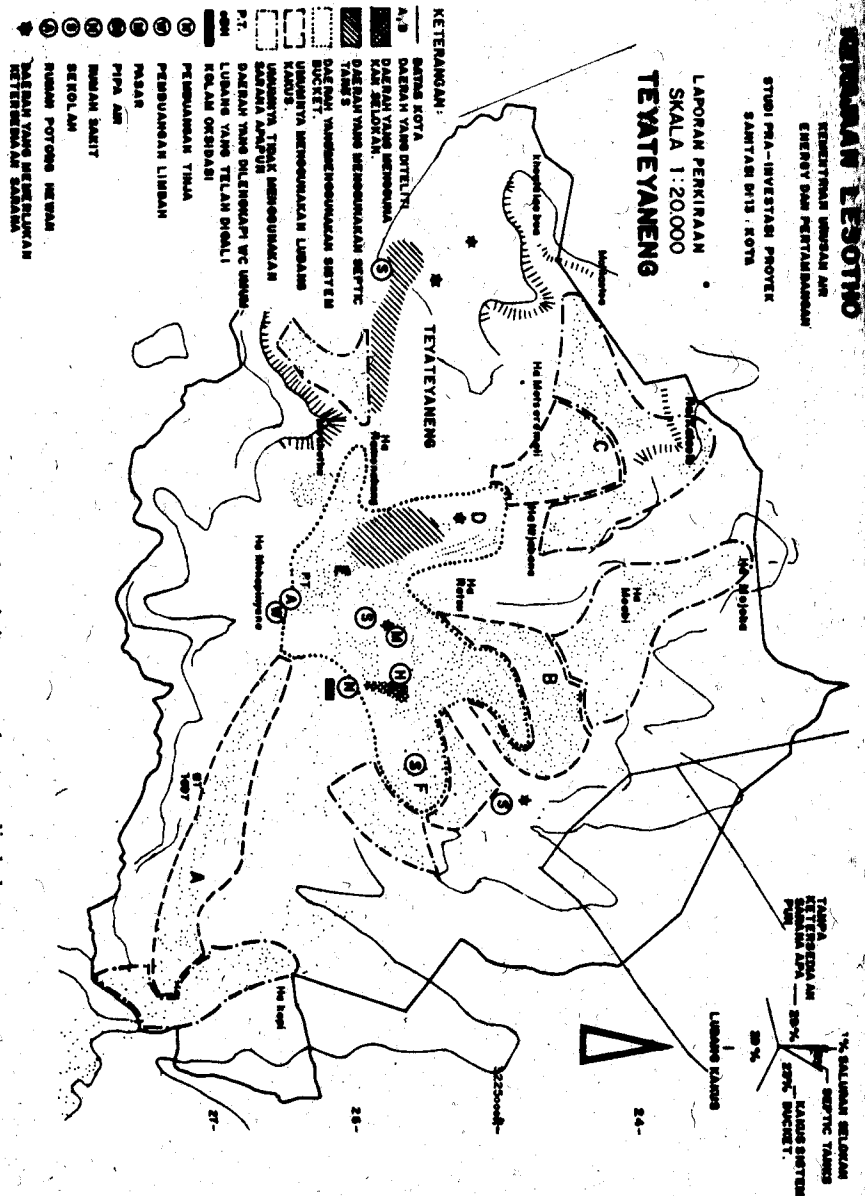
- hanya 1% penduduk dilayani oleh kanal pembuangan air limbah (*sewer connection*)
- 8% penduduk memiliki tangki kotoran (*septic tanks*)
- 23% penduduk memiliki jamban-emper (*bucket latrine*)
- 39% penduduk mempunyai kakus kering (lubang dalam tanah)
- 29% penduduk saat ini tidak memiliki sarana pembuangan limbah

Untuk kedua sistem pembuangan sentral -- kanal pembuangan air limbah dan jamban-emper -- juga terdapat kilang pengolahan sentral di sebelah selatan kota, yaitu kolam oksidasi untuk kanalisasi air kotor dan lubang untuk pembusukan *nightsoil* (kotoran manusia yang dibuang pada malam hari).

Dalam rangka proyek tersebut, konsep pembuangan yang ada akan dimodifikasi secara bertahap berdasarkan rencana jangka panjang untuk tahun 2000, yaitu melalui tindakan segera dan rencana sanitasi lima tahun, dengan titik berat sebagai berikut:

- digantinya seluruh sistem jamban-emper, karena alasan kesehatan,
- pembangunan kakus yang baru dengan aeratasi di daerah-daerah yang sampai sekarang tidak memilikinya dan hanya membuang tinjanya





Gambar 9.2. Pembagian berbagai sistem pembuangan limbah

- melalui jamban-ember atau kakus kering yang kurang sehat,
- perluasan kanalisasi limbah secara sentral di daerah-daerah yang memiliki banyak limbah, kepadatan penduduk yang tinggi dan tanah yang kurang menyerap air,
- instalasi kolam baru dan perluasan kolam yang sudah ada untuk pengolahan arus masuk air kotor dari sistem kanalisasi yang diperluas.

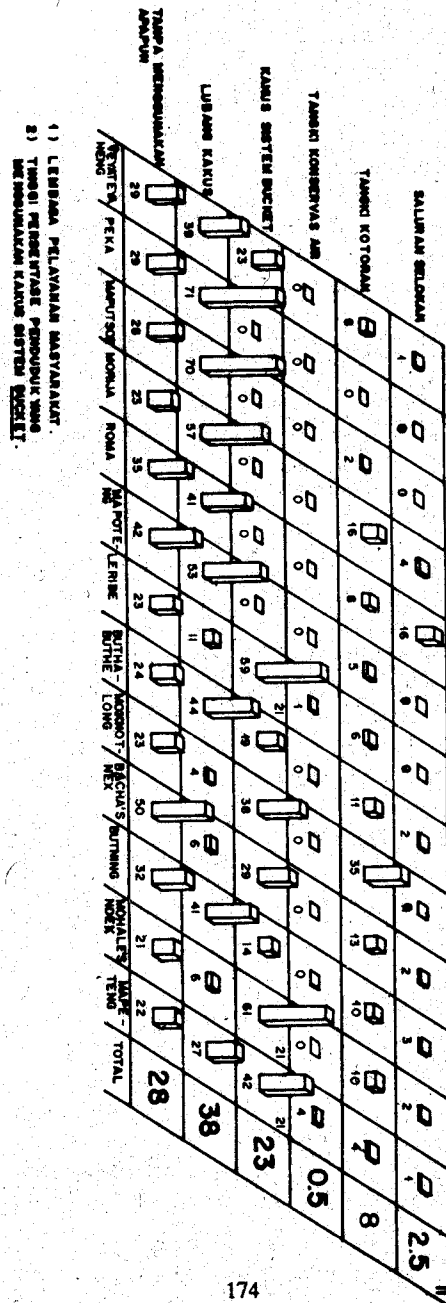
Karena adanya batu pasir sampai ke permukaan tanah di banyak daerah, selanjutnya direncanakan hanya mengijinkan pembangunan tangki kotoran di tempat-tempat yang dapat menjamim air tanah dan kapling-kapling sekitarnya dari bahaya penyerapan luapan tangki kotoran di dalam tanah. Konsep pembuangan yang banyak dikembangkan di masa datang akan dibatasi pada sistem dua komponen. Sistem ini terdiri dari pembuangan air kotor dan pembuangan tinja secara desentral pada tiap-tiap kapling melalui kakus kering dengan aeratasi dan sumur penyerap air serta kanalisasi untuk air kotor di pusat kota.

Gambar 9.3. memperlihatkan dalam sebuah isometri, konsep pembuangan saat ini yang heterogen untuk ketiga belas proyek tersebut. Masing-masing tempat didominasi oleh sistem pembuangan tersendiri. Ciri khusus di dua dari 13 kota di Lesotho ialah sistem tangki yang mengumpulkan seluruh air kotor di tabung-tabung yang kedap air, dan setiap minggu diangkut oleh mobil penyedot. Sistem ini khususnya terdapat di gedung-gedung yang berhubungan langsung dengan penyediaan air sentral, instalasi rumah yang lengkap dan kapling yang letaknya terisolasi di atas lapisan tanah berkarang. Keadaan tersebut tidak memungkinkan pengangkutan limbah yang murah.

Mengingat keadaan penyaluran limbah umum di ke-13 proyek tersebut, maka pabrik-pabrik yang umumnya terdapat di daerah pinggiran kota harus menempuh jarak cukup jauh untuk mencapai jaringan kanal air buangan dari pusat kota yang jumlahnya masih sangat sedikit itu. Karena itu sepantasnyalah dipikirkan pembuangan limbah yang bukan saja sesuai dengan keadaan industri tersebut masing-masing, tetapi terutama juga yang mandiri.

Contoh perencanaan yang kedua ialah proyek pembuangan air limbah dan sampah di Niamey, ibukota Niger yang terletak di Afrika Barat. Negara di Sahel, yang dihuni oleh 6,2 juta jiwa dengan luas 1,3 juta km<sup>2</sup> ini, seperti juga Lesotho, termasuk negara yang paling terkebelakang, dengan pendapatan per kapita US \$ 190. Jika kita tidak melihat eksploitasi tambang uranium yang kaya di sebelah utara, maka Niger merupakan sebuah negara

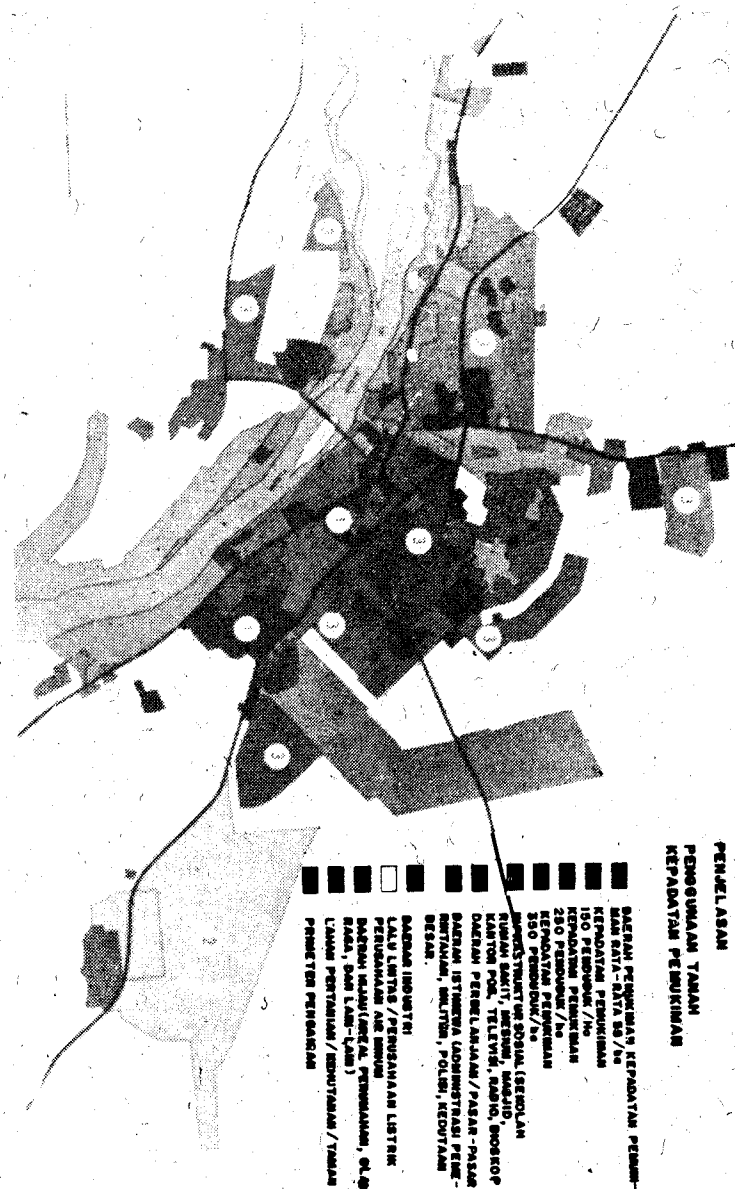




Gambar 9.3. Isometri untuk 13 proyek

agraria yang perekonomiannya masih terbelakang dan berlandaskan pada pertanian subsisten. Ibukota Niamey terletak di kedua tepi Sungai Niger, yang sekarang ini berpenduduk hampir setengah juta jiwa dan merupakan kota terbesar di negara yang jarang penghuninya. Tingkat pertumbuhan kota yang setiap tahunnya antara 6,0 dan 10% selama lebih dari 20 tahun terakhir, memperlihatkan bahwa pertumbuhan alami keseluruhan penduduk Niger setinggi 3,1% dalam setahun akan meningkatkan kepadatan penduduk di daerah perkotaan. Sesuai dengan hal itu, kebutuhan akan perluasan pembuangan air limbah dan sampah di pemukiman kota semakin bertambah, sehingga mendahului tuntutan program pembangunan daerah pedesaan yang belum lama ini muncul dengan kuat. Beban keuangan dalam bidang infrastruktur yang dihadapi oleh kebanyakan kota di Dunia Ketiga terlihat dengan jelas pada contoh Niamey, yang penduduknya tahun 1966 berjumlah sekitar 50.000 jiwa dan sejak itu meningkat sepuluh kali lipat. Niamey juga merupakan satu-satunya tempat paling penting untuk beberapa pabrik yang sampai sekarang berdiri di negara tersebut. Gambar 9.4. memperlihatkan penggunaan tanah yang ada di awal proyek, berdasarkan situasi penelitian kota. Limbah industri yang berasal dari pabrik-pabrik di daerah perindustrian dialirkan ke pinggiran kota. Nomor satu ialah areal yang digunakan. Untuk perluasan industri dan untuk daerah industri baru direncanakan dua daerah industri di dekat lapangan terbang -- di atas dan di bawah areal bernomor dua -- tetapi tidak digambarkan dalam rancangan ini. Rencana penggunaan tanah memperlihatkan daerah untuk pemukiman -- daerah pemukiman (nomor 3)--, ditandai dengan atau tanpa garis-garis miring -- dengan struktur yang heterogen dan kepadatan rata-rata dari 55 sampai lebih dari 159 jiwa/ha dan dari 250 sampai 350 jiwa/ha. Jumlah yang terakhir ini terdapat di pusat kota. Gambar 9.5. memperlihatkan daftar setiap pabrik, seluruhnya berjumlah delapan -- satu pabrik sabun, satu pabrik bir dan minuman, serta satu pabrik yang memproduksi gas pemanas dan gas untuk industri. Selain itu komposisi tersebut memiliki data-data mengenai macam dan jumlah bahan-bahan yang diolah harian atau bulanan, macam dan jumlah produksi jadi, pemakaian air, macam dan jumlah limbah industri dan sanitasi, begitu juga tentang pembersihan dan penyalurannya.

Sementara beberapa pabrik sedikitnya memiliki sebagian dari kilang penjernihan limbah -- yaitu pabrik sabun dan bir -- pabrik-pabrik lainnya membuang limbahnya ke Sungai Niger tanpa dibersihkan terlebih dahulu. Bahaya pembuangan ini terhadap pertumbuhan penduduk kota dan saluran muara Sungai Niger yang tidak menguntungkan untuk pembuangan air



Pada Gambar 9.7. dari pemetaan geologi didaftarkan seluruh kapling yang diusulkan untuk pembuangan air limbah secara desentral. Areal bernomor 1 adalah daerah pinggiran kota; untuk areal bernomor 2 yang terletak langsung di tepi Sungai Niger, untuk bagian pusat kota dan daerah perindustrian, akan dipasang kanalisasi air kotor yang tertutup; areal bernomor 3, dan juga garis yang menandai sungai ke arah hulu, merupakan jalur hijau, daerah reboisasi dan lahan pertanian.

Tergantung dari jenis penyediaan air -- pompa air umum, saluran ke bangunan umum atau ke rumah tangga -- dari tingginya pemakaian air dan instalasi rumah tangga, maka pembuangan air limbah dari daerah pemukiman berlangsung secara desentral melalui:

- kakus kering untuk tinja ditambah sumur perembesan untuk air yang dipakai, atau
- selokan- foesses septiques

# Memanfaatkan Air Limbah

	S.P.C.N. (pabrik gula)	SONIFANE (pengolahan logam dan kayu)	EPIC (pen-jagalan)	ONPPC(pro-duk farmasi)	SOLANI (Susu)	SONITEX-TIL	BRANIC
Bahan da-sar	gemuk 2300/ bulan  soda 30 t/ bln garam 12 t/ bln	baja 141 t/ bln  kayu pres/ kayu/furnir tekstil	100-200/ hari  kambing/ sapidomba 300-600 / hari/onta/ kuda	bahan kimia import	susu segar 2.000 - 3.500l/hari susu bubuk 6.000 - 10.000 l/ hari	serat, ka-trun (80 t/ bln), bahan kimia, pewarna, candu,	malt, ho- t/bln  gula 8 bln soda 4
Produk	sabun keper- juan rumah tangga 350 t/ bln	m e b e l mesin - mesin per- tania	20 t/hari dan 30-40 ton/hari daging	produk 30 ton/tahun, impor 40 t/ tahun labo- ratorium toksi kolog	susunan asam yang dipasteuri- sasi	pintal, tenun, kelan- tang, sepuh- an, cap, 12.000 km tekstil/tahun	bir 90, bl/tahun  air soda
Pemakaian air	30 m <sup>3</sup> sebu- lan maks. 12 m <sup>3</sup> /jam	164 m <sup>3</sup> /bl	6.600 m <sup>3</sup> /bl	1.100 m <sup>3</sup> /bl	1.500 m <sup>3</sup> /bl	13.250 m <sup>3</sup> / bl pengo- lahan air sungai	19.000 bl maks. m <sup>3</sup> /jam
Air limbah	3 m <sup>3</sup> /sabun			air dingin/ saluran ke sungai	air pembilas	40-50 m <sup>3</sup> / jam pewarna, soda, asam garam, asam beler- ang	3.000 hari zat isi ganik alkalis
a) jumlah + komposisi	2 m <sup>3</sup> /jam 0,6% garam 0,3% soda 0,8% glis- erin						60% bak- organ- melalui tasi
b) pengo- lahan	Ya dekantasi 1 dekantasi 2/ flotasi, area- tasi, penyar-		penyaluran limbah ke sungai me- maka i penggaruk	limb a h labora- totium, m e n - yalukan ke sumur pe- nampung	menyalur- kan ke sun- gai	menyaurl- kan ke sun- gai	bak areata tan p dekantasi
Air limbah sanitasi	12 WC, 8 wastafel, 15 pancuran pembuan- gan ke ka- nalisasi umum men- urut dekan- tasi 1	15 WC 13 wastafel  kanalisasi sumur / galian	10 WC, 13 wastafel  sumur	21 WC, 6 pancuran 12 wastafel  sumur	2 WC  menyalur- kan ke sun- gai	20 wc, 6 pancuran 1 fastafel  menyalur- kan ke sun- gai	6 WC, pancuran wastafel  menyalu- kan ke su- gai

Gambar 9.5. Kegiatan tiap-tiap pabrik

# Pengolahan Air Limbah dan Pembuangan Sampah

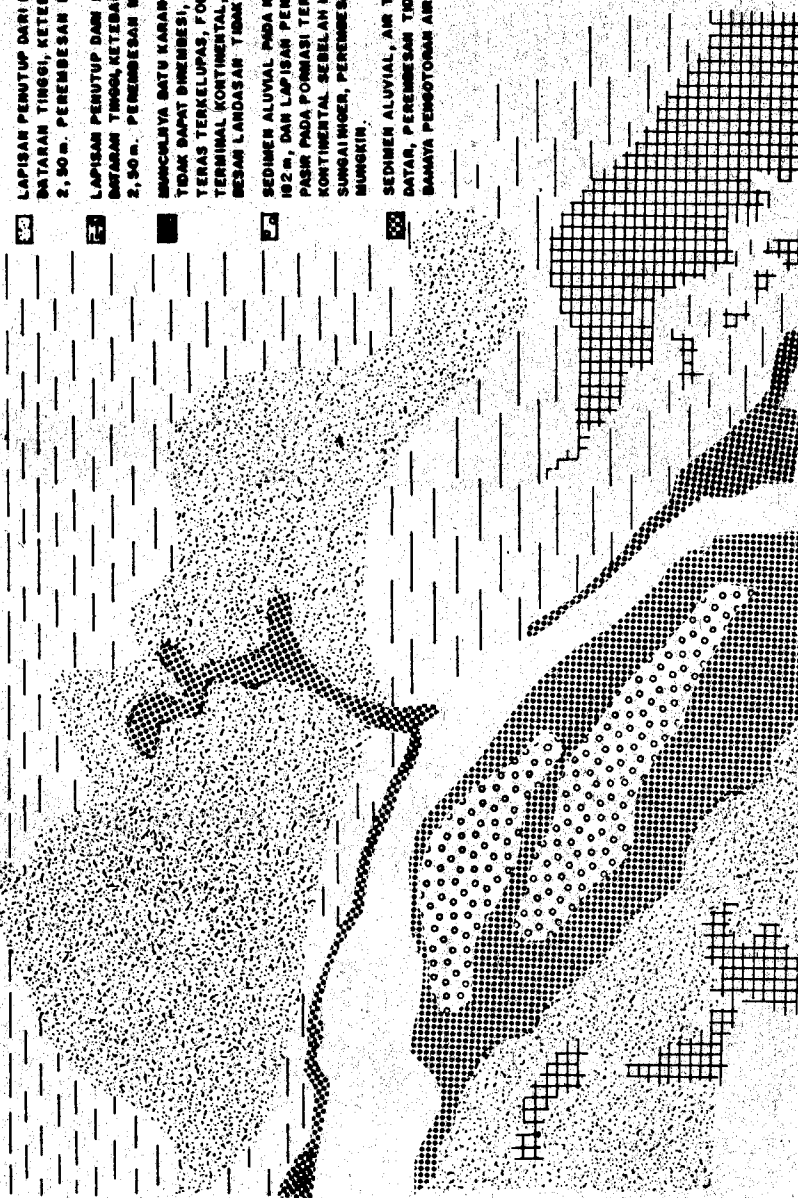
LAPISAN PENUTUP DARI PASIR DI  
BATARAN TINGGI, KETEBALAN  
2,50 m. PEREMESAN MUNGKIN

LAPISAN PENUTUP DARI PASIR DI  
BATARAN TINGGI, KETEBALAN  
2,50 m. PEREMESAN MUNGKIN

MUNCULNYA BATU KARANG YANG  
TAK DAPAT DIBENDESI, TERAS -  
TERAS TERKELUPAS, FORMASI  
TERMINAL KONTINENTAL, PEREM-  
DESAN LANDASAN TIDAK MUNGKIN

SEDIMEN ALUVIAL PADA KETINGGIAN  
102 m, DAN LAPISAN PENUTUP DARI  
PASIR PADA FORMASI TERMINAL  
KONTINENTAL SEBELAH KANAN SU-  
SUNGAI INGER, PEREMESAN TIDAK  
MUNGKIN.

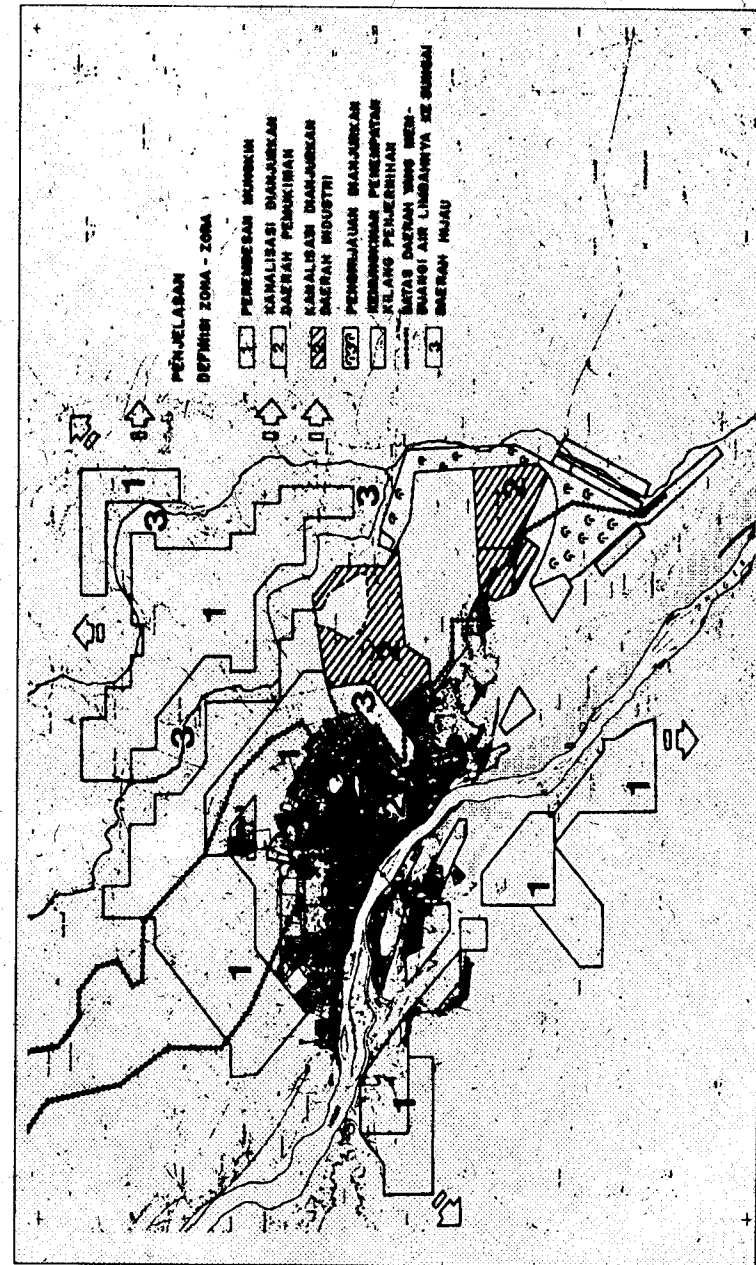
SEDIMEN ALUVIAL, AIR TANAH YANG  
DATAR, PEREMESAN TIDAK MUNGKIN,  
BANYAK PENGOTORAN AIR TANAH



Gambar 9.6. Peta Geologi

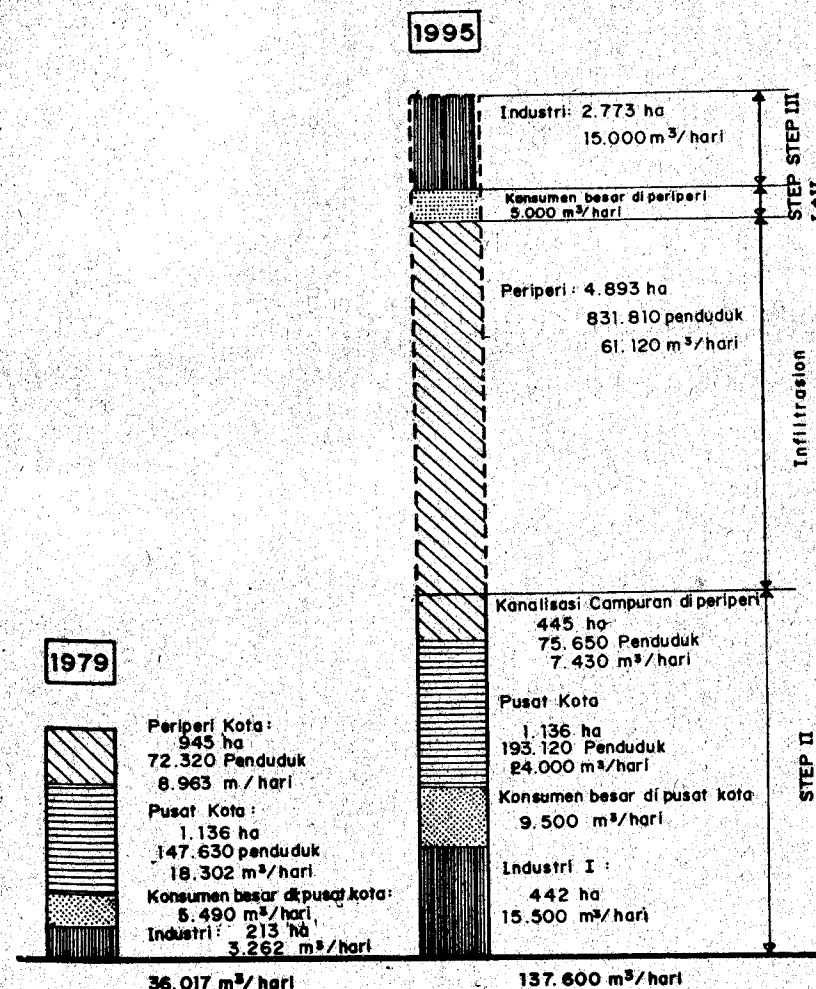
Di samping perluasan pembuangan limbah secara sentral di daerah-daerah dengan jumlah limbah dan kepadatan penduduk yang tinggi serta lapisan tanah yang tidak dapat dirembesi, konsepsi pembuangan umum selanjutnya merencanakan untuk tetap membuang limbah secara desentral bagi daerah kota yang cocok dengan sistem desentralisasi melalui kanalisasi air limbah dalam sistem yang terpisah. Pada Gambar 9.8. tampak secara grafis struktur pembuangan air kotor untuk tahun 1979 -- tahun awal proyek dengan daftar situasi dan pola induk (*masterplan*) -- serta untuk wawasan perluasan pada tahun 1995.

Dari sekitar 220.000 penduduk tahun 1979, sekitar 1/3 nya bermukim di pinggiran kota dan 2/3 di pusat kota, dengan pembagian pemakaian air sekitar 36.000 m<sup>3</sup>/hari, yaitu 1/4 nya untuk daerah pinggiran dan 3/4 nya untuk daerah pusat; bagian industri hampir 10% dari pemakaian air bersih dan dari pembuangan keseluruhan air limbah. Untuk wawasan perluasan tahun 1995 diperkirakan jumlah penduduk kota Niamey akan mencapai sekitar 1,1 juta. Ramalan ini diperkuat oleh perkembangan penduduk yang ada sejak tahun 1979 sampai 1986; 4/5 penduduk ini akan bermukim di sekitar daerah pinggiran kota dan 1/5 nya di daerah pusat kota. Bagian dalam pemakaian air dan juga jumlah air limbah adalah sekitar 1/2 di daerah pemukiman di pinggir kota, 1/4 di pusat kota dan 1/4 di kedua daerah industri. Untuk pembuangan limbah di daerah pinggiran direncanakan perembesan di dalam tanah pada setiap kapling. Pusat kota dan daerah industri yang ada membuang airnya melalui kanalisasi limbah dalam sistem terpisah dengan pengolahan air limbah dalam kolam-kolam oksidasi sebelum dibuang ke Sungai Niger. Untuk daerah industri baru, direncanakan sebuah kilang penjernihan tersendiri. Apakah kebutuhan air sekitar 137.000 m<sup>3</sup>/hari yang diperhitungkan untuk tahun 1995 dapat dipenuhi pada waktunya dari segi produksi, masih harus diragukan. Sebab, sejak konsepsi perencanaan tersebut selesai, hasil ekspor pertambangan uranium turun, sehingga sangat membatasi kemungkinan pembiayaan. Yang realistis ialah asumsi bahwa pembatasan tingkat penyediaan air untuk penduduk perkotaan harus diterima dan konsep penyediaan serta pembuangan tersebut baru akan dijalankan sepenuhnya di waktu yang akan datang. Pada tabel bagian bawah dari Gambar 9.9. tampak perkiraan mengenai kepadatan penduduk dan pemakaian air per kapita untuk tahun 1995 berdasarkan situasi pemasokan yang digambarkan pada tabel di atasnya. Perkembangan yang diramalkan untuk pembuangan air limbah dari kapling-kapling untuk kurun waktu 1980-1995 diperlihatkan dalam Gambar 9.10.



Gambar 9.7. Pembuangan air limbah secara desentral, konsep dasar





Gambar 9.8. Grafik di awal proyek tahun 1979 sampai wawasan perluasan tahun 1995

Pada jumlah pemakai kakus kering yang tetap, diperkirakan bahwa sebagian dari mereka akan bergabung pada jaringan kanal, sedangkan pemakai tangki kotoran akan berkurang. Gambar 9.11 memperlihatkan dalam denah kota, wawasan perluasan tahun 2000 kanalisasi air limbah yang direncanakan untuk pembuangan limbah dari daerah pemukiman di pusat kota serta dari daerah industri. Direncanakan tiga kilang pengolahan air kotor: kilang STEP I untuk menjernihkan air dari daerah universitas -- sementara ini telah selesai dibangun dan sekarang sudah bekerja --, kilang STEP II untuk membersihkan air limbah rumah tangga dari daerah-daerah pemukiman di pusat kota dan daerah industri yang ada, serta kilang STEP III untuk pengolahan air limbah industri dari kedua daerah industri baru tersebut.

Karena alasan biaya, kanalisasi air limbah harus diwujudkan dalam beberapa tahap perluasan. Prioritas pertama ialah saluran penampung utama yang membentang sepanjang sungai Niger dan kanal-kanal penyalurnya dari pusat kota. Sebagai jalan keluar sementara, direncanakan jaringan saluran air hujan dengan profil tertutup dan dilengkapi dengan talang untuk musim kemarau, yang dioperasikan sebagai sistem campuran. Dan mengalirkan air limbah sebelum muara saluran air hujan ke saluran penampung utama air limbah yang membentang sejajar dengan sungai, melalui apa yang disebut "separateurs" (saluran terpisah).

Melalui kanalisasi air hujan, setiap bagian kota membuang air limbahnya ke Sungai Niger dan palung perembesan yang terletak di pinggiran kota. Jaringan air hujan ini dibangun dengan biaya yang sangat besar dan ditanggung oleh negara Niger sendiri dan Bank Pembangunan Afrika. Tingginya curah hujan tahunan hampir mencapai 600 mm selama musim hujan yang berlangsung hanya 2-3 bulan --  $r_{15} (n=1)$  dengan 240 l/detik.ha, sekitar dua kali lipat daripada di Jerman Barat. Umumnya, sebelum perluasan kanalisasi, hujan selalu menyebabkan banjir selama beberapa hari di areal tanah yang luas di dalam kota dan di daerah pemukiman. Akibatnya ialah erosi, kerusakan jalan dan gedung-gedung, serta robohnya rumah-rumah tinggal tradisional yang dibangun dari bahan tanah lempung yang dikeringkan. Pemakaian modal untuk perluasan pembuangan air tersebut karenanya mula-mula dipusatkan pada pembuatan saluran air hujan. Pembuangan air limbah dan sampah direalisasi dalam rangka kerjasama antara Jerman Barat dan Niger dalam sebuah program untuk air limbah dan kebersihan, yang saat ini sedang dalam tahap penyelesaian dan mencakup langkah-langkah sebagai berikut:

membangun instalasi blok-blok saniter umum di daerah-daerah kota

### Memanfaatkan Air Limbah

Kategori penduduk	Kepadatan pemukiman	Pemakaian air spesifik (1/p. hari)	Penduduk (P)	Pemakaian air harian (m3/hari)
I	0-100	150	66.880	10.032
II	100-200	125	101.625	12.703
III	200-300	80	36.375	2.910
IV	300-400	25	14.700	370
Desa		25	49.900	1.250
Jumlah (1985)			269.900	27.250

Kategori penduduk	Kepadatan pemukiman	Pemakaian air spesifik (1/p. hari)	Penduduk (P)	Pemakaian air harian (m3/hari)
I	0-100	140	39.000	6825
II	100-200	90	310.000	4340
III	200-300	35	36.500	3285
IV	300-400	30	15.000	525
Desa			66.900	2007
Jumlah (1985)			467.400	5602

Kategori penduduk	Kepadatan pemukiman	Pemakaian air spesifik (1/p. hari)	Penduduk (P)	Pemakaian air harian (m3/hari)
I	0-100	200	39.000	7.800
II	100-200	160	1.009.500	161.5520
III	200-300	100	36.500	3.650
IV	300-400	40	14.700	588
Desa		35	109.000	3.815
Jumlah (1985)			1.207.000	177.373

**Gambar 9.9.** Perkiraan kepadatan penduduk dan pemakaian air per kapita yang menghadapi masalah penyediaan saniter basis untuk setiap kapling serta tempat-tempat tertentu, seperti pasar, stasiun bis, tempat-tempat pertemuan (blok-blok saniter ini meliputi bangunan yang dilengkapi dengan kakus, kamar mandi dan kamar cuci, yang dijalankan oleh swasta dan dipungut bayaran);

- membangun instalasi pusat pembuangan secara teratur dari sampah rumah tangga dan pada areal khusus yang dibatasi, juga dari industri;
- mendirikan sebuah bangunan yang dilengkapi dengan bengkel dan garasi untuk parkir, pemeliharaan dan perbaikan mobil-mobil sampah;

### Pengolahan Air Limbah dan Pembuangan Sampah

	Jumlah penduduk	Jumlah tanah	Hubungan ke jaringan pembuangan		Saluran limbah rumah tangga		Saluran kakus jumlah	
			Jumlah	%	Jumlah	%	jumlah	%
1980	268.000	22.385	-	-	6.715	30	15.670	70
1985	400.000	33.375	1.000	3	9.010	27	32.365	70
1990	659.000	54.917	3.500	6,5	12.905	23,5	38.512	70
1995	1.100.000	91.667	13.000	14	14.667	16	64.000	70

**Gambar 9.10.** Prakiraan pembuangan limbah dari tempat pemukiman, 1980-1995

pelaksanaan sebuah proyek percobaan untuk membandingkan dua alternatif pengumpulan sampah dari daerah pemukiman, yaitu:

alternatif pertama, sampah dari rumah-rumah dibawa sendiri oleh penduduk ke tempat sampah yang berukuran 5,5 m<sup>3</sup> yang diletakkan di atas beton dengan jarak maksimal 300 m antara satu dengan lainnya, kemudian dibawa ke pusat pembuangan sampah

alternatif kedua, sampah dari rumah yang ditempatkan di tong sampah di tepi pagar halaman akan dikosongkan oleh para tukang sampah ke gerobak-gerobak sampah dan dibawa ke tempat sampah yang besarnya 20 m<sup>3</sup> yang diletakkan di atas lapisan beton dan berjarak 1.000 m satu dari lainnya dan dikosongkan sekitar seminggu sekali oleh truk sampah yang dilengkapi dengan sistem pengangkat sampah, kemudian dibawa untuk dibuang di pusat pembuangan sampah.

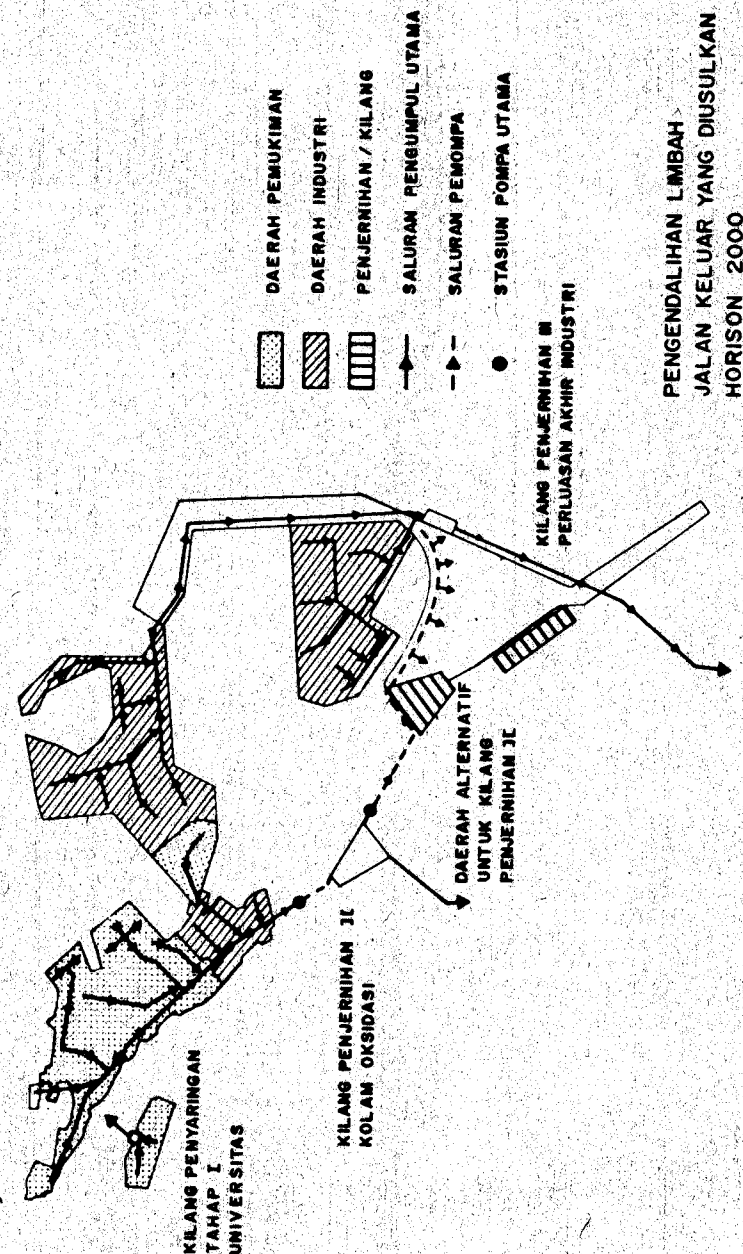
Setelah proyek percobaan di dua bagian kota yang dipilih selesai, maka alternatif yang terbukti paling baik akan diterapkan di seluruh kota. Pengumpulan sampah secara teratur dan pembuangannya, merupakan syarat mutlak tidak saja bagi kesehatan umum di daerah-daerah pemukiman, tetapi juga untuk keberhasilan kanalisasi air limbah. Jika masalah pembuangan sampah tidak dipecahkan dengan cara yang dapat diterima oleh penduduk, maka berdasarkan pengalaman, tidak lama kemudian selokan-selokan dan saluran jaringan pembuangan air limbah akan dipenuhi sampah yang memampatkannya.

Contoh ketiga dan terakhir bagi perencanaan proyek pembuangan air limbah ialah di Banweol, sebuah kota di pantai Laut Kuning, sekitar 50 km dari Seoul, ibukota Republik Korea Selatan. Koera Selatan secara tradisional merupakan negara agraris, yang kurang berkembang di Asia.



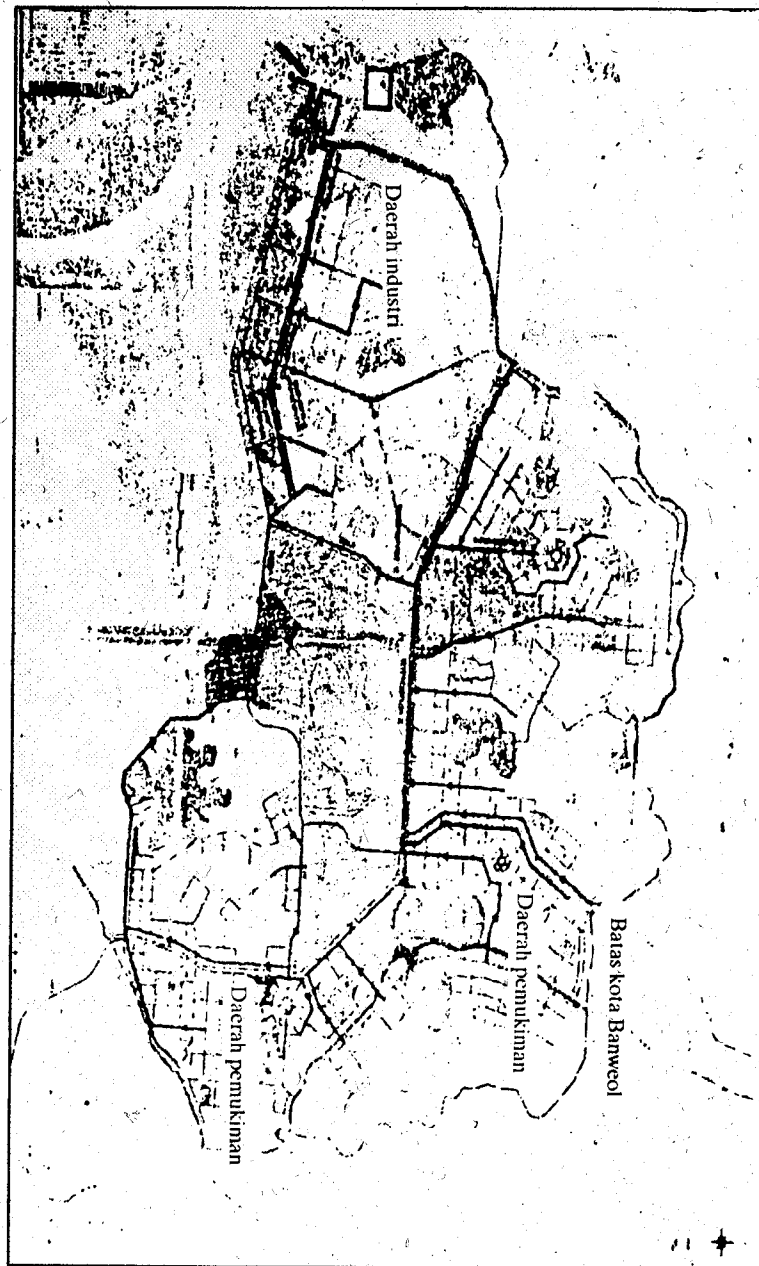
Dalam dua dasawarsa terakhir melaksanakan industrialisasi yang intensif di seluruh negeri dan sekarang, dengan pendapatan per kapita sebesar US \$ 2.110, berada pada peralihan dari tingkat negara berkembang ke tingkat negara industri. Dalam rangka industrialisasi ini, disamping sederet kota-kota pantai, daerah Seoul berkembang sangat cepat, sehingga ibukota Korea Selatan itu sekarang berpenduduk hampir 10 juta jiwa. Seoul Raya yang berpenduduk hampir 15 juta jiwa, merupakan salah satu pusat industri yang terbesar di dunia. Industrialisasi yang juga menimbulkan pencemaran lingkungan kota Seoul, menyebabkan pemerintah memindahkan sebagian besar yang ada di kota dalam rangka sebuah Factory Relocations Program ke kota pantai Banweol, tak jauh dari pelabuhan penting Inchon. Sekaligus dibangun daerah-daerah pemukiman untuk pekerja-pekerja industri di dekat daerah perindustrian itu. Pemindahan industri yang sudah ada dan masuknya industri tambahan, mulai dilakukan tahun 1980. Dengan selesainya bagian pertama di tahun 1990, Banweol dalam waktu singkat berkembang menjadi kota industri penting dengan 250.000 penduduk dengan sekitar 1.000 industri kecil dan menengah. Saat ini sekitar 2/3 dari tujuan pembangunan pertama telah selesai. Dalam pembangunan tahap 2 untuk tahun 2000 diperkirakan pertambahan jumlah penduduk menjadi 300.000 dan perluasan industri menjadi sekitar 1.300 buah. Dinas perencanaan kota telah membuat konsep pengelompokan industri di sebuah daerah industri besar yang mencakup 600 ha yang akan berdampingan dengan beberapa daerah pemukiman baru, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 9.12. Bangunan-bangunan di daerah industri serta daerah pemukiman dihubungkan dengan pusat penyediaan air dan tanpa kecuali pembuangan limbah diatur dari pusat melalui sambungan ke sebuah kanalisasi air limbah dalam sistem terpisah. Pembuangan air limbah tersebut dirancang sedemikian rupa, sehingga limbah rumah tangga dan dari industri secara terpisah dialirkan dalam saluran pengumpul yang lalu diteruskan ke kilang penjernihan. Untuk menetapkan sistem pengolahan air limbah, diteliti 4 variasi yang gambarnya ada dalam Gambar 9.13. diteliti 2 kilang penjernihan yang berbeda, 2 tempat yang berbeda untuk menyalurkan air kotor dari kilang ke pantai Banweol, serta pengolahan air limbah dari rumah tangga dan industri ke kilang penjernihan dalam saluran pengolahan bersama atau terpisah.

Tujuan perbandingan variasi-variasi penelitian ialah untuk menentukan variasi yang paling menguntungkan berdasarkan biaya yang diperlukan, yang dapat menjamin nilai batas konsentrasi yang telah ada sebelumnya di pantai Banweol.

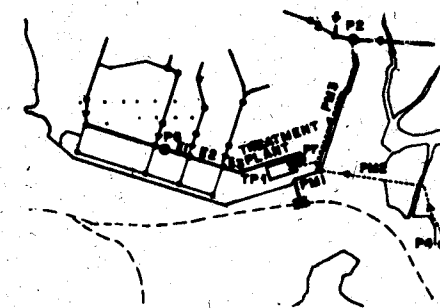


Gambar 9.11. Denah kanalisasi air limbah yang direncanakan untuk perluasan pada tahun 2000

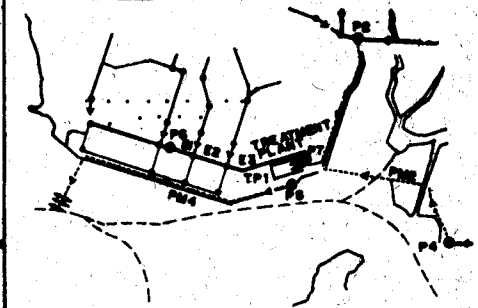
Gambar 9.12 Daerah industri berdampingan dengan daerah-daerah pemukiman baru



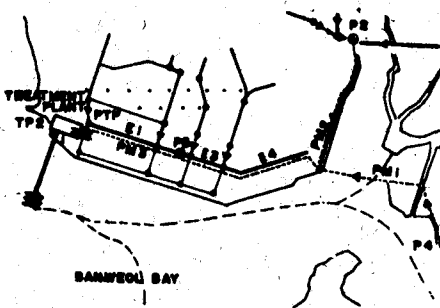
BENTUK 1



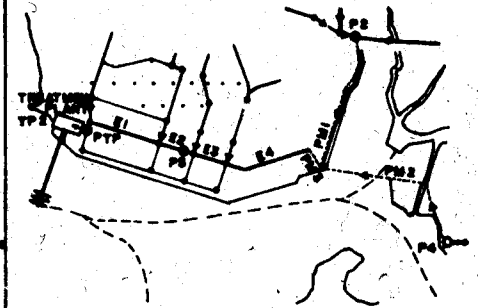
BENTUK 2



BENTUK 3



BENTUK 4



KETERANGAN:

- PENAMPUNG DAN ARAH ALIRAN
- BAGIAN PENAMPUNG YANG DAPAT MELAKUKAN PEMISAHAN.
- SELOKAN UTAMA DENGAN ARAH ALIRAN
- POMPA UTAMA DENGAN ARAH ALIRAN
- P3 POMPA
- TP INTALASI UNTUK MEMISAHKAN LIMBAH TINJA DAN AIR LIMBAH
- TP INTALASI LENGKAP
- SALURAN PEMBUANGAN KE LAUT YANG DILENGKAPI OFFUSER
- SKALA

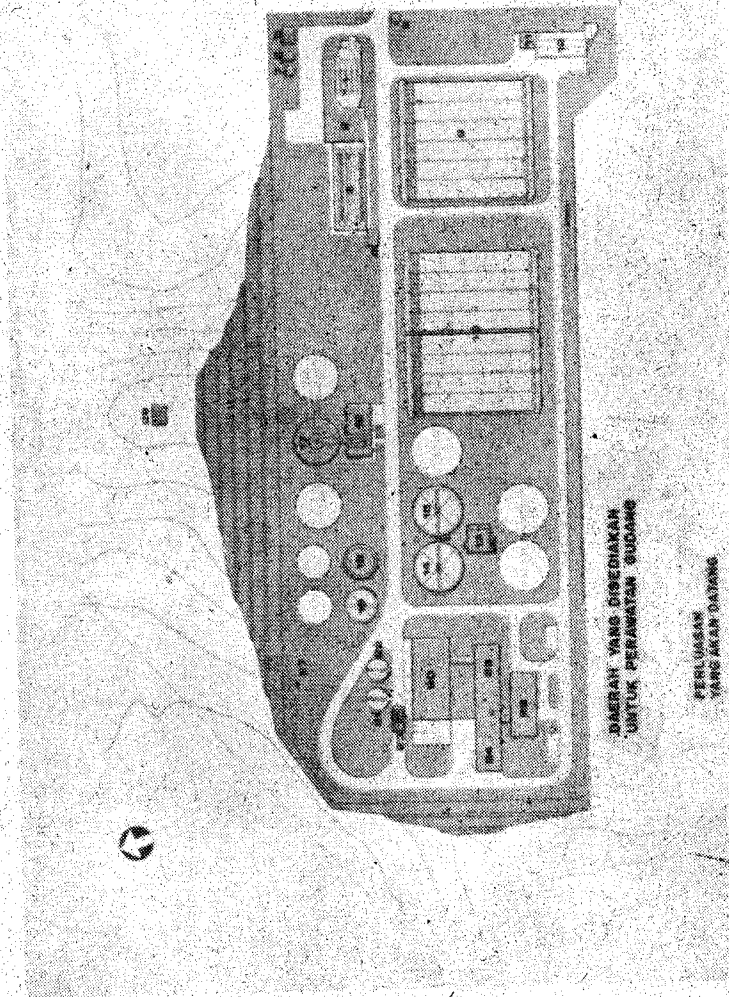
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM	
BENTUK MODEL PENGOLAHAN DAN PEMBUANGAN AIR LIMBAH BAGI S KOTA INDUSTRI FASE 2	ACUAN
INTALASI ALTERNATIF TEMPAT/ PENAMPUNG	DISAMBAR OLEH:
	PENGUNJIAN OLEH:
	TANGGAL:
	SKALA:
	GBR NO:

Gambar 9.13. Empat variasi sistem pengolahan air limbah

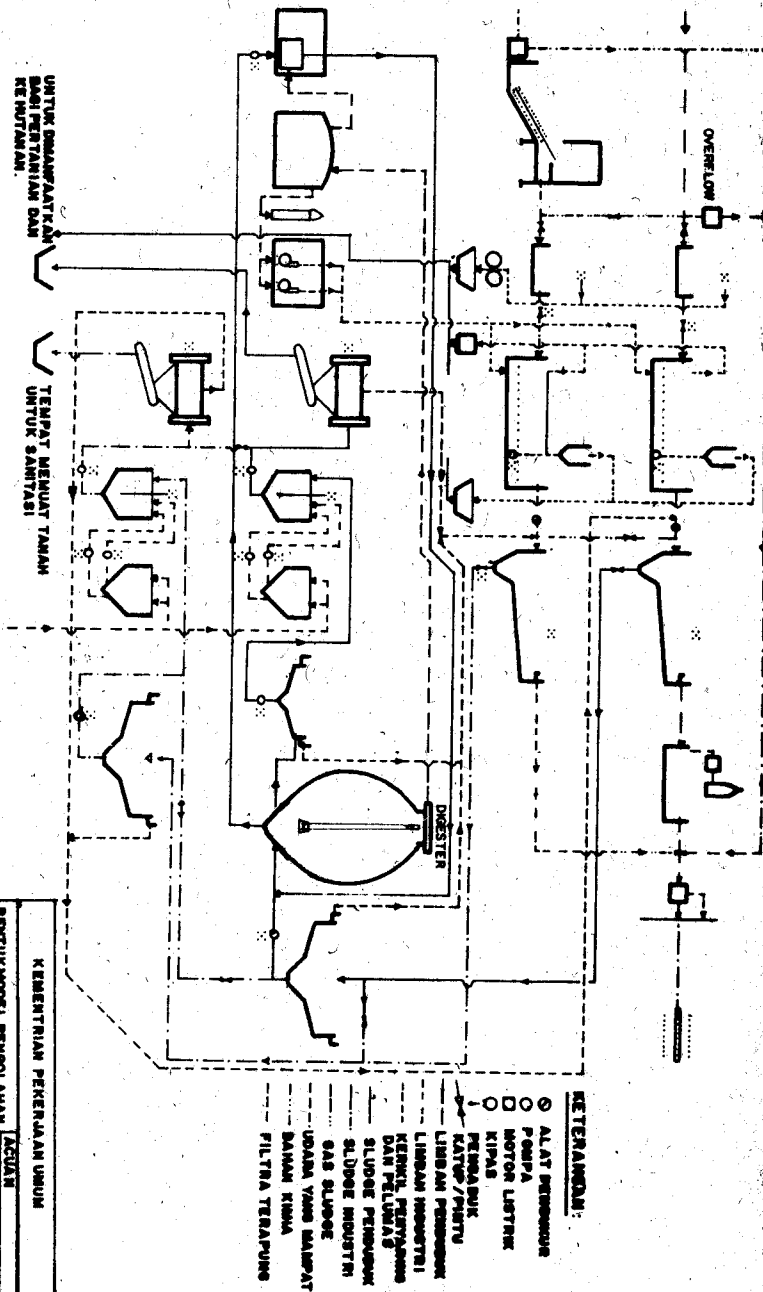
Pengukuran oceanografi dan perhitungan model merupakan bagian penting dari studi yang dilakukan. Variasi 3 terlihat sebagai jalan keluar yang paling menguntungkan: pengolahan air limbah secara terpisah, untuk industri dan daerah pemukiman dengan sebuah saluran pembuang panjang yang dialirkan ke kanal tempat menampung air pasang. Undang-Undang Pelestarian Alam Korea tahun 1977, yang telah diperketat pada tahun 1981/1983 untuk saluran air limbah di daerah pantai, mengharuskan pihak saluran industri untuk menyediakan kilang pembersihan awal yang memadai karena adanya konsentrasi sederet zat dalam air limbah, terutama logam berat dan senyawa organik toksis yang tidak dapat dihancurkan. Kilang tersebut saat ini sedang dibangun di daerah industri. Untuk mengawasi nilai batas yang berlaku untuk daerah pantai, dijalankan program pemantauan untuk daerah Pantai Banweol setelah kilang penjernihan, menurut variasi 3, mulai bekerja. Dengan pemantauan tersebut perkembangan mutu air di daerah pantai dapat diamati dalam jangka waktu lama. Berdasarkan data hasil pengukuran yang ada, dapat diputuskan apakah dan kapan instalasi perlu diperluas ke tahap biologi. Kilang penjernihan yang pada awalnya bertahap satu telah dipersiapkan sejak semula untuk diperluas berdasarkan kebutuhan di masa mendatang.

Dalam Gambar 9.14 dan 9.15, kilang digambarkan dalam denah perencanaan dan skema proses, bagaimana ia dilaksanakan dan untuk sementara ini telah dioperasikan.

Setelah memperlihatkan tiga contoh perencanaan, maka sebagai penutup perlu diberikan catatan mengenai perencanaan proyek-proyek di negara berkembang: selalu ditekankan kembali bahwa dalam perencanaan pembuangan air limbah untuk negara berkembang dianjurkan sistem yang sederhana. Sebaiknya diutamakan proses yang alami daripada metode pengolahan yang setengah canggih atau yang sepenuhnya canggih. Dalam banyak kasus, justru pada pembuangan air limbah industri, tuntutan ini hanya dapat dipenuhi secara terbatas. Tetapi selalu diharapkan agar ditemukan jalan keluar yang sesuai dengan penggunaan energi dan bahan kimiawi sekecil mungkin. Karena situasi modal yang sulit, terutama situasi devisa dan juga kurangnya tenaga terdidik di negara berkembang, maka sistem yang dipilih adalah sistem yang dapat dilaksanakan semudah mungkin dan membutuhkan hanya sedikit suku cadang. Tetapi dalam hal ini, orang harus melawan godaan untuk memilih sistem yang mudah atau yang "berharga murah" (*low cost*) yang belum cukup diuji, atau bahkan menolak pemakaian "teknik" sama sekali, sehingga kelihatannya sebagai "tepat-guna" ("appropriate"). Sikap penyelenggara yang menolak teknik



Gambar.9.14 Denah kilang penjernihan Banweol



**Gambar 9.15. Denah kilang penjernihan dalam skema prosesnya**

ini dalam praktek malah justru merumitkan keadaan atau terbentuk pada penolakan kelompok sasaran yang bersangkutan. Misalnya, akibat gangguan bau dari instalasi kolam yang besar, pengotoran air tanah melalui perembesan air limbah dari bak-bak tanah, hilangnya lahan pertanian yang berharga, masalah pembuangan lumpur yang tidak terpecahkan, keterbatasan daya kerja, sistem yang dipilih karena tergantung pada faktor iklim dan periode tumbuh-tumbuhan. Setiap kilang pengolahan air limbah yang akan direncanakan harus memperhatikan latar belakang sosio-ekonomi, budaya, iklim dan fisika dari masing-masing tempat. Kemudian barulah dibuat konsep yang sesuai dengan “kemampuan teknik” individunya. Hanya dengan cara demikian akan tercapai jalan keluar yang patut mendapat nama “tepat-guna”. Jalan keluar ini tentu tidak selalu mudah. Dan diukur dari biaya investasi tidak selalu merupakan jalan keluar yang “berharga murah”, tetapi paling tidak dalam jangka panjang merupakan jalan keluar yang “paling menguntungkan”.

Persyaratan perencanaan di negara berkembang untuk memulai “dari bawah”, menuntut insinyur dalam kegiatan profesinya untuk menguasai dasar-dasar kualifikasinya dengan baik. Penekanan pada pengetahuan dasar dalam studi ilmu bangunan air memberikan si insinyur perlengkapan dasar yang dibutuhkan, sehingga dapat menemukan jalan keluar yang tepat, juga dalam situasi negara berkembang yang terbatas.



## Bab X

# KOLAM ENCENG GONDOK (HYACINTHUS AIR) UNTUK MEMBERSIHKAN AIR LIMBAH INDUSTRI\*

H. Orth

Pengantar

Kolam air limbah termasuk proses yang paling sering dipakai untuk membersihkan air limbah. Di Amerika Serikat saja, misalnya, terdapat sekitar 5.000 kolam air limbah untuk daerah pemukiman. Ditambah lagi adanya sejumlah besar kolam air limbah untuk membersihkan air limbah industri, yang sering dimasukkan ke dalam statistik. Di negara-negara lain juga terdapat kolam air limbah dalam jumlah yang hampir sama dan juga berfungsi membersihkan air limbah daerah pemukiman dan industri. Penggunaan kolam air limbah dalam industri minyak, *cell material* (massa berserat halus yang terdiri dari selulose, berwarna putih dan lunak) dan kertas serta industri bahan makanan, terdapat misalnya dalam buku pelajaran dan buku pedoman mengenai teknik air limbah (ATV, 1985).

– Walaupun sering dipergunakan, tetapi peran kolam air limbah sebagai pembersih air limbah di negara-negara industri relatif masih terbatas. Kolam-kolam ini terutama dipakai untuk komunitas-komunitas kecil dan untuk kegiatan industri sendiri-sendiri, begitu juga untuk pasca-pembersihan dalam bentuk kolam-kolam maturasi. Dengan demikian, dari seluruh air limbah yang terkumpul, hanya relatif sedikit yang dibersihkan dalam kolam-kolam air limbah.

Di negara berkembang, kolam air limbah mempunyai arti yang lebih

\* Diterjemahkan dari H. Orth, "Wasserhyazintheiche zur Reinigung Industrieller Abwasser"

penting. Alasannya ialah kolam-kolam air limbah memiliki beberapa keuntungan, misalnya kesederhanaan pengoperasiannya, dan tidak mempunyai kerugian seperti misalnya kurang berfungsi selama musim dingin, seperti yang terjadi di negara-negara industri. Seperti juga di negara industri, kolam air limbah dipergunakan juga untuk membersihkan air limbah industri di negara berkembang.

– Sebuah perkembangan yang relatif baru yang semakin menarik perhatian sekarang ini ialah kolam air limbah dengan menggunakan tanaman. Penyebabnya ialah beberapa keuntungan konkret yang dapat dibuktikan dalam situasi-situasi yang khusus, dan juga tuntutan yang semakin sering muncul untuk lebih banyak memakai proses pembersihan air limbah yang lebih bersifat alami. Terbukti bahwa penempatan tanaman dapat memperbaiki efisiensi kolam-kolam air limbah dalam situasi tertentu, dan kolam tanaman dari sisi ekologi pada umumnya menguntungkan.

Jenis tanaman yang disenangi untuk kolam air limbah di negara berkembang ialah enceng gondok. Memang perhatian terhadap enceng gondok meningkat karena pengaruh keberhasilan penggunaannya di Amerika Serikat, tetapi mengingat situasi iklim di kebanyakan negara berkembang hal ini tidaklah salah. Pada iklim tropis dan subtropis, tanaman enceng gondok merupakan gulma yang hampir tidak dapat diatasi. Dengan demikian dilihat dari sisi pembersihan air limbah, tersedia suatu jenis tanaman yang sangat kuat.

Mungkin memang mengherankan bahwa penggunaan tanaman air untuk membersihkan air telah dikenal sejak lama dalam kasus-kasus khusus. Penyediaan air di beberapa daerah di Bangladesh didasarkan, misalnya, pada penyimpanan air hujan di kolam-kolam kecil. Di kolam-kolam tersebut ditanam enceng gondok, yang berdasarkan pengalaman dapat menjamin mutu air yang lebih baik.

– Berikut ini pertama-tama akan dibahas beberapa kerangka pemikiran umum, landasan-landasan teoretis dan kriteria rancangan mengenai kolam enceng gondok untuk membersihkan air limbah industri. Pemisahan yang ketat antara air limbah industri dan air limbah daerah pemukiman, tidaklah mungkin dilakukan di sini. Walaupun proses kimiawi dan fisika dalam pembersihan air limbah di kolam-kolam mempunyai peran penting, tetapi proses kolam tetap termasuk dalam proses biologi. Karena itu untuk pembersihan kolam tanaman yang dipilih hanyalah air limbah industri yang dapat dihancurkan secara biologi atau air limbah yang dapat ditangani bersama-sama dengan air limbah yang dapat ditangani bersama-sama dengan air limbah yang berasal dari daerah pemukiman. Untuk memperjelas aspek-aspek yang dibicarakan, maka sebagai penutup akan digambar-

kan sebuah studi kasus, yaitu mengenai sebuah kilang percobaan di daerah industri lebih besar. Air limbah di instalasi ini terdiri dari berbagai jenis air limbah industri dan air limbah daerah pemukiman.

### **Kemampuan Kolam Enceng Gondok untuk Membersihkan Air Limbah di Negara Berkembang**

Kolam tanaman enceng gondok merupakan subkelompok dari proses pembersihan limbah di dalam kolam secara keseluruhan. Kebanyakan sifat-sifat dan kemampuan yang dihasilkan oleh sistem enceng gondok di negara berkembang juga berlaku untuk proses pembersihan air limbah di dalam kolam.

Tetapi di samping itu terlihat beberapa sifat khusus dari kolam enceng gondok. Tanaman ini dengan persyaratan tertentu dapat meningkatkan efisiensi kolam air limbah, seperti juga dapat mencegah kerugian pada kolam-kolam tanpa tanaman air.

Penilaian kolam enceng gondok dan kemampuannya untuk membersihkan air limbah di negara berkembang, membutuhkan sebuah pengamatan yang berkaitan dengan sifat-sifat utamanya. Karenanya, berikut ini akan dikemukakan baik sifat-sifat yang hanya menyangkut kolam enceng gondok maupun sifat-sifat umum dari proses pembersihan air limbah dalam kolam.

#### *Proses kilang penjernihan dan struktur biaya*

Faktor penting yang pertama untuk kilang berbentuk kolam di negara berkembang ialah ukurannya. Kolam terutama lebih sesuai untuk kilang berukuran kecil dan menengah. Jika dibandingkan dengan negara industri, di negara berkembang lebih sering ditemukan kilang kecil dan menengah, yang disebabkan oleh struktur pengumpulan air limbah. Jaringan kanalisasi masih relatif jarang dan hanya terbatas di beberapa pusat perkembangan yang penting. Walaupun ada jaringan kanalisasi, hanya sedikit yang mencakup seluruh daerah kota dan mengalirkan seluruh air limbah ke kilang penjernihan bersama. Yang lebih banyak ada ialah jaringan kanalisasi tersendiri untuk masing-masing tempat di kota. Yang paling banyak terdapat ialah jaringan kanalisasi di daerah-daerah pemukiman yang baru atau di daerah industri. Ukuran daerah baru tersebut dan jumlah penduduknya atau banyaknya air limbah yang terkumpul, sering dapat disamakan dengan terkumpulnya air limbah dari daerah pemukiman yang lebih kecil dalam ukuran Eropa. Selanjutnya masih banyak daerah-daerah

baru yang tidak mempunyai kanalisasi pengumpulan, dan untuk kegiatan industri di daerah-daerah demikian hanya dapat ditempatkan kilang penjernihan tersendiri. Secara keseluruhan hal ini memperlihatkan bahwa sebagian besar kilang penjernihan yang sesuai untuk negara berkembang ialah kolam yang diperluas.

Perbandingan antara biaya pembangunan instalasi kolam dan instalasi penjernihan teknis, memperlihatkan bahwa di negara berkembang, kilang berbentuk kolam lebih murah harganya sedangkan kilang penjernihan teknis lebih mahal daripada di negara industri sendiri. Hal ini disebabkan oleh masing-masing struktur biaya. Biaya kolam ditentukan terutama oleh biaya pembelian dan penggarapan tanah.

Di negara berkembang, harga keduanya ini relatif masih murah. Tetapi kilang penjernihan teknis menjadi mahal terutama karena harus mengimpor peralatan mesin, biaya pengangkutannya dan juga kadang-kadang bea impor yang tinggi. Dibandingkan dengan negara industri, maka di negara berkembang lebih menguntungkan jika dibangun instalasi kolam.

Pertimbangan mengenai ukuran kilang penjernihan dan struktur biaya ini memperlihatkan suatu kecenderungan umum. Namun dalam setiap kasus kecenderungan ini tidak dipakai untuk membuat perbandingan keuntungan secara ekonomis. Tidak dapat diabaikan bahwa pembangunan kilang penjernihan di negara berkembang terpusat hanya di beberapa pusat pembangunan. Pusat-pusat pembangunan ini ditandai oleh kenaikan harga tanah yang melonjak cepat. Karena itu tidak dapat disamaratakan bahwa instalasi kolam lebih murah daripada proses dengan tingkat teknologi lebih tinggi yang kurang memerlukan tanah luas.

#### *Pelaksanaan kilang penjernihan*

Keuntungan istimewa kolam air limbah ialah instalasinya yang sederhana. Harus diperhatikan bahwa untuk banyak kilang penjernihan di negara berkembang, hanya tersedia pegawai yang tidak terdidik. Memang benar negara berkembang sekarang ini telah aktif dalam semua teknologi modern, sampai ke teknik satelit atau teknik nuklir, tetapi tugas membersihkan air limbah masih tetap dianggap mempunyai arti yang relatif tidak penting dibandingkan dengan sektor lainnya. Praktis tidak terdapat program pendidikan untuk pegawai pelaksana kilang penjernihan. Dan para insinyur teknik air limbah tidak berminat menjadi pemimpin operasional kilang air limbah.

Karena kilang penjernihan teknik tidak dapat bekerja dengan baik tanpa pegawai terdidik, maka kolam air limbah sering merupakan satu-satu



nya teknologi yang menjanjikan pengoperasian yang dapat diandalkan.

Selanjutnya yang penting untuk menjamin bekerjanya kilang teknis ialah biaya operasinya. Menutup biaya operasionalnya sering lebih sulit dilakukan daripada menutup biaya pembangunannya. Untuk biaya pembangunannya, di samping biaya dari pemerintah nasional, sering tersedia bantuan atau pinjaman dari bantuan pembangunan.

Tetapi biaya operasinya biasanya dibebankan kepada yang menjalankan atau, jika pembersihan air limbah diatur oleh pemerintah pusat, maka dibebankan pada negara. Biaya pengolahan air limbah hanya kadangkala bisa dipungut. Secara keseluruhan, jika biaya operasionalnya tinggi, maka pembiayaan operasi tersebut sering diikuti oleh risiko yang sangat tinggi. Terdapat contoh yang tak terhitung banyaknya untuk kilang penjernihan yang secara teknis mahal harganya, yang karena kekurangan uang tidak dapat dirawat atau dijalankan sesuai dengan aturannya. Pada instalasi kolam, risiko ini hanya sedikit, karena biaya operasinya sangat rendah.

Yang mengancam terjaminnya pelaksanaannya ialah ketergantungan kilang penjernihan teknik pada impor. Komponen-komponen penting dari peralatan mesin masih harus diimpor oleh kebanyakan negara berkembang. Tugas-tugas teknik sipil yang sulit, banyak dilakukan oleh perusahaan-perusahaan asing. Juga sebagian besar perbaikan yang diperlukan dan pemasokan suku cadang tergantung dari impor. Hal ini sangat rawan untuk negara-negara yang membatasi impor karena sedikitnya devisa. Mendapatkan suku cadang hanya mungkin melalui proses birokratis yang lama dan berbelit-belit, dalam beberapa kasus malah tidak mungkin sama sekali. Jika rusak, karena kilang penjernihan tergantung dari impor, akan tidak terpakai untuk waktu lama atau malah untuk selamanya. Bahaya ini tidak terdapat pada instalasi kolam. Instalasi kolam dapat dibangun dengan tenaga dan bahan-bahan bangunan lokal, serta dapat terus dijalankan jika terjadi kerusakan-kerusakan.

#### *Kemungkinan penggunaan*

Kolam enceng gondok di negara berkembang paling sering ditempatkan sebagai tahap utama pembersihan secara biologis dengan kolam pengendapan anaerob. Kolam ini cocok untuk mengolah air limbah yang berasal dari rumah tangga, industri dan air limbah campuran dari rumah tangga dan industri. Selanjutnya terdapat kemungkinan pemakaiannya sebagai tempat peralihan atau untuk memperbaiki hasil pembersihan dari kilang yang sudah ada.

Kedua jenis penggunaan yang disebutkan terakhir perlu dijelaskan

lebih lanjut, karena dapat dipakai secara khusus di negara berkembang. Perluasan dan pembangunan daerah-daerah baru, terutama daerah industri, berlangsung bertahun-tahun dan tanah yang luas tidak terpakai dalam waktu yang lama. Situasi ini sering berguna untuk memulai pembersihan air limbah di kolam-kolam. Peralihan kepada proses yang hanya membutuhkan sedikit tanah tetapi lebih rumit teknologinya, dapat diundurkan.

Proses ini mempunyai beberapa keuntungan cukup berarti. Ia cukup ekonomis karena biaya investasi yang tinggi untuk instalasi berteknologi tinggi, dapat diundur. Untuk periode awal, tersedia proses pengolahan secara sederhana, yang tanpa kesulitan dapat disesuaikan dengan semakin banyaknya limbah yang masuk sedikit demi sedikit. Terdapat cukup banyak contoh daerah industri, di mana kilang penjernihan teknik dibangun terlalu dini dalam ukuran yang sebetulnya lebih cocok bagi pembangunan daerah industri itu pada tahap akhir.

Biasanya, akibatnya ialah kesulitan menjalankan kilang tersebut karena tidak dipakai sepenuhnya bersamaan dengan munculnya biaya operasi yang tinggi. Proses kolam pada tahap awal dapat menghindarkan kesulitan-kesulitan ini. Selanjutnya, individu yang mengoperasikannya dapat mengumpulkan beberapa pengalaman berharga dengan kolam-kolam ini, sebelum harus beralih ke proses operasi yang lebih sulit. Selama situasi tanah memungkinkan, maka setelah dibangun instalasi penjernihan teknis, kolam-kolam ini juga dapat dipakai sebagai kolam maturasi.

Pemakaian kolam-kolam maturasi sebagai tingkat pembersihan ketiga yang telah dibangun sepenuhnya di negara berkembang masih terbatas. Dilihat secara ekonomi, memang tidak berguna jika membangun tingkat pengolahan ketiga di beberapa tempat, sementara sebagian besar air limbah masih tetap mengalir tanpa dibersihkan. Walaupun demikian, kolam penjernihan air yang dibangun setelah kilang penjernihan teknis, dalam banyak kasus merupakan jalan keluar yang berguna. Karena kilang teknis yang digunakan terlalu kecil atau karena kurangnya pengalaman personal operasi, maka hasil pembersihan dari kilang penjernihan teknis sering tidak memuaskan atau memperlihatkan ketidakstabilan yang besar. Kolam penjernihan dengan biaya yang rendah di sini dapat memberikan bantuan

#### *Memerangi ganggang dengan enceng gondok*

Kerugian besar pada kolam air limbah yang tidak ditanami tanaman ialah pertumbuhan ganggang. Jika pertumbuhan ganggang di kebanyakan negara industri hanya muncul dalam bulan-bulan musim panas karena keadaan iklimnya, maka di daerah tropis dan subtropis ganggang merupa-

kan masalah sepanjang tahun. Pertumbuhan ganggang ialah bentuk pencemaran sekunder, yang mengurangi efisiensi kolam air limbah. Ganggang terutama menyebabkan peningkatan konsentrasi zat mengambang. Secara umum konsentrasinya diperhitungkan ada di antara 50 sampai 100 mg/l. Nilai batas yang diinginkan, yaitu 30 mg/l, jarang tercapai. Selanjutnya, pertumbuhan ganggang menyebabkan tingginya perubahan gerak kadar oksigen. Perubahan gerak itu mulai dari kejenuhan yang tinggi selama siang hari sampai pada situasi anoksis menjelang fajar.

Cara yang memuaskan untuk membasmi ganggang masih belum ada sampai sekarang. Saringan mikro kurang cocok untuk konsentrasi ganggang yang tinggi, seperti yang muncul di daerah beriklim panas akibat tingginya penyinaran matahari. Selain itu, saringan mikro ini mencerminkan tingkat teknologi yang sangat berbeda-beda. Situasi, di mana pemakaian saringan mikro sekaligus berguna sebagai proses yang secara teknologi rumit, sulit untuk dibayangkan. Dengan menanam enceng gondok, pertumbuhan ganggang dengan cara yang sederhana dapat terus dicegah. Kolam enceng gondok dengan demikian menyediakan proses yang terus mempertahankan keuntungan-keuntungan kolam air limbah biasa dan sekaligus menghalangi perkembangan massal ganggang, yang merupakan kelemahan dari sistem kolam air limbah biasa.

### **Mekanisme Kerja dalam Kolam Enceng Gondok**

Kolam enceng gondok ialah sistem alami yang kerjanya melakukan pembersihan berdasarkan proses-proses biologi, kimia dan fisika. Sebagian besar proses yang berlangsung masih belum jelas. Terutama sekali analisis kuantitatif setiap proses masih berada pada stadium awal. Tetapi proses penting yang ikut ambil bagian dalam proses pengolahan dapat dilukiskan dalam bentuk kualitatif.

### **Mekanisme kerja umum kolam air limbah**

#### **Sedimentasi**

Beban permukaan hidraulik dan kecepatan dalam kolam enceng gondok sangat rendah dibandingkan, misalnya, di kolam pengendapan. Dengan demikian, praktis semua zat yang dapat mengendap dan semua zat mengambang dapat dipisahkan. Ini juga berlaku untuk gumpalan-gumpalan lumpur yang terbentuk karena aktivitas kehidupan mikro-organisme.

Mengenai jumlah penumpukan sedimen dalam kolam enceng gondok,

tidak banyak diketahui. Tetapi perlu diperhatikan bahwa kolam enceng gondok dilengkapi dengan sebuah pembersih awal, yang membuang sebagian besar bahan-bahan yang mengendap dari arus air yang masuk.

### **Aktivitas kehidupan mikro-organisme**

Aktivitas kehidupan mikro-organisme adalah makanan yang penting untuk menghancurkan bahan-bahan organik. Mikro organisme ini memegang peranan penting dalam menentukan penghancuran BOD dan juga untuk nitrifikasi/denitrifikasi bakteri. Kegiatan organisme-organisme dalam kolam enceng gondok dapat disamakan dengan yang ada dalam kilang lapis tritis atau kilang pengaktifan lumpur. Jelas, jenis mikro-organisme yang ikut ambil bagian dalam kolam enceng gondok lebih banyak.

Di samping proses penghancuran yang aerob, muncul juga proses yang anaerob dalam kolam enceng gondok. Umumnya mereka mengalir ke lapisan lumpur di dasar kolam, sementara bagian kolam yang dilalui oleh air limbah mempertahankan kadar zat asam minimalnya sebanyak 1-2 mg/l. Tetapi percobaan-percobaan dalam Asian Institute of Technology memperlihatkan bahwa kolam enceng gondok juga bisa berfungsi dalam situasi yang anaerob (Orth, et. al., 1986).

### **Pemisahan kimiawi dan penjerapan (adsorption)**

Pemisahan kimiawi, penjerapan dan penumpukan dalam sedimen diamati sebagai proses yang sesuai untuk memisahkan fosfor dan logam berat. Tingkat pemisahan itu sendiri tergantung dari tingkat kestabilannya. Tingkat pemisahan ini tidak hanya berbeda-beda untuk berbagai ganggang, tetapi dapat juga sangat tidak stabil dalam setiap kilang.

### **Pengaruh waktu mengendap**

Beberapa persenyawaan yang sulit dihancurkan berada dalam kolam, di mana proses penghancuran terjadi sedikit demi sedikit. Faktor-faktor yang berpengaruh adalah penyinaran ultra-violet melalui sinar matahari, proses oksidasi dan proses reduksi. Dalam keadaan ini, bibit penyakit pun berada dalam persyaratan hidup yang kurang menguntungkan, sehingga mereka musnah secara perlahan. Dengan cara demikian, telur cacing yang biasanya tahan lama, juga musnah. Setelah terjadi sedimentasi, telur ini

akan terjerat dalam tanah. Karena waktu yang lama, maka beberapa zat yang sulit dihancurkan dan bibit penyakit dalam kolam dapat musnah, sehingga didapatkan hasil yang lebih bersih daripada dalam kilang penjerihan teknis dengan waktu mengendap yang hanya sebentar saja.

#### Mekanisme khusus dari kolam enceng gondok

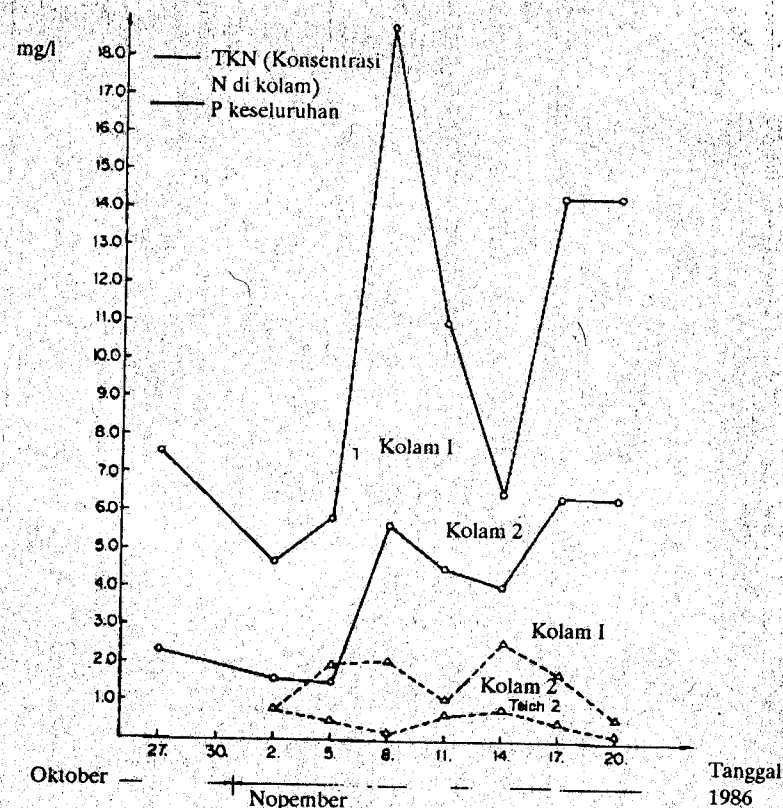
Mekanisme yang digambarkan di atas berlaku untuk kolam dengan atau tanpa tanaman. Dengan ditanami enceng gondok, muncul beberapa mekanisme tambahan yang memperbaiki hasil pengolahan, sekaligus keseimbangan zat asam dapat dipengaruhi.

#### Daerah pertumbuhan mikro-organisme

Enceng gondok memiliki akar yang bercabang-cabang halus. Permukaan akarnya digunakan oleh mikro-organisme sebagai tempat pertumbuhan. Dengan demikian kepadatan organisme dalam sistem meningkat. Terutama nitrifikasi yang peka menemukan tempat pertumbuhan yang sesuai pada akar enceng gondok. Nitrifikasi yang dihasilkannya serta denitrifikasi yang kemudian berlangsung dalam sedimen, diamati sebagai proses yang memisahkan zat lemas dalam kolam-kolam enceng gondok (Stowell *et al.*, 1981). Percobaan-percobaan Asian Institute of Technology dalam sebuah kolam enceng gondok yang berjalan secara anoksik, memperlihatkan pembuangan zat lemas rata-rata 6,1 kg/(ha.hari). Penelitian mengenai hal itu masih belum selesai. Sebuah penjelasan sementara ialah bahwa nitrifikasi suka bermukim pada akar dan mendapatkan zat asam melalui akar, sedangkan denitrifikasi berlangsung pada zat cair anoksik. Gambar 10.1 memperlihatkan hasil-hasil pertama penelitian selanjutnya pada Asian Institute of Technology (Sengkota, 1987). Pada penelitian ini diamati dua kolam secara bersamaan dengan ukuran yang sama besarnya dan dalam situasi kerja yang sama. Kolam pertama dilakukan dengan cara lama, yaitu tanpa tanaman, dalam kolam kedua ditanam enceng gondok. Pembuangan zat lemas yang meningkat tinggi akibat penanaman enceng gondok, dapat dilihat dengan jelas.

#### Perlindungan dari sinar matahari

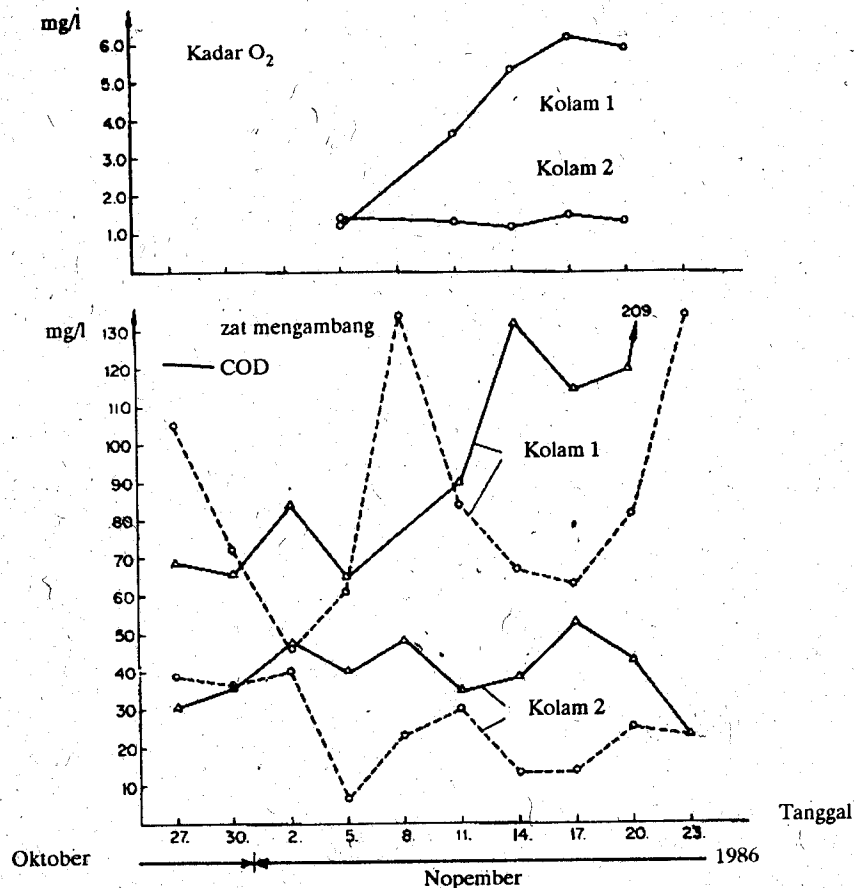
Tingginya penyinaran matahari di kebanyakan negara berkembang merupakan sebab yang menentukan untuk pertumbuhan ganggang yang



Gambar 10.1. Perbandingan konsentrasi saluran pembuangan (TKN, P) dari kolam air limbah, Asian Institute of Technology (kolam 1 tanpa, kolam 2 dengan enceng gondok; pertumbuhan tanaman meningkat dari sekitar 20% menjadi 70%, Sengkota, 1987)

insentif. Sebagai perbandingan: intensitas sinar matahari di Eropa Tengah bulan Juni rata-rata berada sekitar 17 MJ ( $m^2$ .hari) dan ini sesuai dengan intensitas rata-rata tahunan di Bangkok. Di bulan September tercatat intensitas sinar matahari yang paling rendah di Bangkok, yaitu hanya kurang sedikit, sekitar 15 MJ/( $m^2$ .hari). Daun-daun enceng gondok dapat menghalangi sinar matahari, sehingga dalam kolam yang sepenuhnya ditumbuhi enceng gondok pertumbuhan ganggang dapat dicegah. Hal ini

mengakibatkan, di samping reduksi BOD/COD, juga penurunan zat mengambang yang cukup banyak (Gambar 10.2.). Kadar zat mengambang dalam saluran pembuangan kolam enceng gondok umumnya terletak di bawah 30 mg/l, dalam kasus yang menguntungkan malah di bawah 10 mg/l.



Gambar 10.2. Perbandingan konsentrasi saluran pembuangan (O<sub>2</sub>, COD, zat mengambang) dari kolam air limbah, Asian Institute of Technology) (kolam 1 tanpa, kolam 2 dengan enceng gondok; pertumbuhan tanaman meningkat dari sekitar 20% menjadi 70%, Sepkota, 1987)

### Penyaringan dan penyerapan (*adsorption*)

Akar-akar enceng gondok selanjutnya merupakan media untuk proses penyaringan dan penyerapan. Tetapi kedua proses tersebut relatif tidak mempunyai arti. Perlu diperhatikan bahwa memang kedua proses tersebut dapat menunjang proses pembersihan secara keseluruhan, tetapi tidak menyebabkan penghancuran dan pembuangan bahan-bahan yang kotor.

### Pengurangan masuknya zat asam

Mula-mula enceng gondok menyebabkan pengurangan masuknya zat asam sebanyak dua kali lipat. Pengaruh angin menurun dan masuknya zat asam juga terus dikurangi dengan kehadiran ganggang. Tetapi masuknya zat asam di bawah pengaruh angin jauh lebih banyak daripada ketika tidak ada angin. Zat asam tambahan dibawa oleh tanaman dan akar. Berapa banyak zat asam yang masuk melalui tanaman, belum banyak diketahui. Percobaan dari Herbert (1985) menunjukkan nilai tengah sekitar 14 g/ (m<sup>2</sup>/hari). Ini merupakan sebuah percobaan yang tidak dapat digeneralisasi. Gambar 10.2. memberikan gambaran yang jelas tentang pengaruh enceng gondok pada kadar zat asam. Pengukuran diambil pada waktu yang berbeda-beda dalam satu hari. Kolam 1 (tanpa enceng gondok) memperlihatkan dengan jelas perubahan kadar zat asam yang sangat tergantung dari irama harian fotosintesis. Perubahan ini tidak muncul dalam kolam enceng gondok.

Penilaian sekarang ini harus bertitik tolak pada kesimpulan bahwa masuknya zat asam ke dalam kolam enceng gondok lebih sedikit daripada ke kolam tanpa tanaman. Asumsi ini dibuktikan melalui nilai-nilai yang didapat dari saran-saran, rancangan yang berlandaskan pada pengalaman. BOD yang disarankan untuk kolam enceng gondok lebih sedikit daripada untuk kolam aerob tanpa tanaman. Untuk itu jenis pemakaiannya juga perlu diperhatikan. Masuknya zat asam merupakan faktor pembatas penting untuk beban organik dalam kolam, yang digunakan sebagai tahap utama biologis. Dalam kolam maturasi, kriteria-kriteria lainnya memainkan peranan lebih penting.

### Daya serap tanaman terhadap zat-isir-air

Tanaman mampu menyerap banyak zat dan memisahkannya dari air limbah. Nilai maksimal untuk pembuangan zat lemak melalui penyerapan



enceng gondok dan penuaiannya kemudian, diberikan, misalnya oleh Weber dan Tchobanoglous (1985), sebesar 10 kg/(ha.hari). Muramoto dan Oki (1983) dari percobaan-percobaan dalam laboratorium, memperhitungkan dalam jangka waktu 16 hari tingkat penyerapan Cadmium, timah hitam dan air raksa maksimal sebesar 17,7, 627 dan 105 mg/m<sup>2</sup>. Ini merupakan percobaan-percobaan di mana batas peracunan dilampaui.

Untuk menilai artinya dalam praktek, maka daya serap tanaman terhadap zat-isir-air limbah harus dibandingkan dengan proses penghancuran lainnya. Tingkat pembuangan zat lemas diamati sampai mencapai 79 kg/(ha.hari) (Weber dan Tchobanoglous, 1985). Dengan nilai yang disebutkan di atas untuk daya serap tanaman, maka tingkat pembuangan yang diamati ini mungkin berjumlah tujuh kali lipat lebih banyak daripada daya serap tanaman. Dengan cara yang sama kemungkinan membuang fosfor atau logam berat melalui penyerapan tanaman lebih sedikit, jika dibandingkan dengan proses lainnya (Stowell *et al.*, 1981).

Untuk menilai arti daya serap tanaman terhadap zat-isir-air limbah, selanjutnya perlu diperhatikan segi operasionalnya. Jika ingin memakai daya serap tanaman untuk membuang zat-zat berbahaya secara terarah, maka pertumbuhan tanaman harus dipertahankan pada tingkat yang tinggi. Untuk itu tanaman harus dituai secara teratur, karena pertumbuhan enceng gondok berkurang atau malah berhenti sama sekali jika kepadatan pertumbuhannya meningkat. Jika misalnya bertitik tolak dari konsentrasi Cadmium dalam tanaman sebesar 0,393 mg/kg seperti yang didapatkan oleh Muramoto dan Oki (1983), maka untuk membuang 1 g Cadmium harus dituai 2,5 ton enceng gondok. Adanya paksaan untuk sering menuai tanaman ini, membuat pelaksanaan kolam enceng gondok menjadi tidak sederhana, dan dengan demikian kehilangan salah satu keuntungan utamanya. Walaupun daya serap tanaman sebagai proses alami perlu dinilai secara kritis, percobaan-percobaan yang dilakukan sampai sekarang mengenai daya serap terhadap bahan-bahan berbahaya secara tidak langsung mempunyai arti penting untuk membersihkan air limbah industri. Percobaan-percobaan tersebut memperlihatkan bahwa enceng gondok merupakan tanaman sangat "keras", yang mengungguli konsentrasi bahan-bahan toksik yang relatif tinggi. Muramoto dan Oki (1983) melakukan percobaan-percobaan mereka dalam konsentrasi timah hitam, Cadmium dan air raksa sampai 8, 8 dan 2 mg/l. Sampai sekarang tidak terdapat patokan bahwa nilai batas yang berlaku bagi pengolahan secara biologis dari air limbah yang mengandung bahan-bahan beracun, harus dibatasi untuk kolam enceng gondok.

## Rancangan Kolam Enceng Gondok

### Pengukuran

Kolam enceng gondok baru sedikit diteliti dan proses pembersihan yang berlangsung masih dalam penggambaran analitis. Karenanya, rancangan ini berlandaskan pemikiran yang mendasar dan berdasarkan nilai-nilai yang didapat dari pengalaman pada kilang yang terbatas jumlahnya. Data-data yang ada sampai sekarang, yang berhubungan dengan beban dan dampak pembersihan, masih belum stabil. Data-data ini sulit dibandingkan satu sama lainnya, karena pengaruh yang penting seperti kondisi iklim dan hidraulik hanya diberitakan secara sporadis. Karena itu, untuk rancangannya, disarankan pengukuran yang konservatif dan kalau mungkin melakukan proyek percobaan.

Dari pembahasan yang telah dilakukan mengenai mekanisme kerja, tampak bahwa proses pembersihan yang primer ialah kegiatan mikro-organisme, sedimen dan pencegahan pertumbuhan ganggang dengan mengurangi penyinaran matahari. Proses-proses ini terutama mengurangi parameter zat-zat yang dapat diendapkan, zat-zat yang mengambang, BOD/COD dan zat lemas. Zat-zat yang dapat diendapkan, zat mengambang dan BOD sekaligus merupakan parameter saluran pembuangan yang paling sering dipakai untuk rancangan kilang penjernihan di negara berkembang. Sekarang, pembersihan air limbah selanjutnya untuk membuang zat lemas dan fosfor, masih belum mempunyai arti penting.

Sedimentasi dan pengurangan sinar matahari tidak harus diperhatikan secara khusus pada rancangan secara umum. Sebab, untuk kedua proses ini secara a priori terdapat persyaratan yang menguntungkan. Yang menentukan untuk pengukuran adalah beban organik. Beban organik yang diijinkan terutama tergantung dari masuknya zat asam melalui permukaan dan dari proses pertukaran pada perbatasan antara air dan lumpur dasar. Karenanya, beban organik merupakan ukuran yang pokok. Beban yang dipakai sampai kini untuk membersihkan air limbah mentah berada antara 30 dan 200 kg/(ha.hari). Pada beberapa kasus dengan beban organik yang relatif sedikit, tercium bau, sementara instalasi lain yang lebih banyak beban, tidak berbau. Secara keseluruhan, pengalaman yang ada masih terbatas dan beberapa kontradiksi dalam catatan yang terlampir masih belum jelas. Saran pengukuran dalam Tabel 10.1. memasukkan ketidakpastian ini dan mempunyai cadangan kepastian.

Rumus pengukuran yang dibuat secara teoretis untuk kolam air limbah

Tabel 10.1. Nilai pengukuran untuk kolam enceng gondok (Middle brooks *et al.*, 1982)

Parameter	Nilai Pengukuran	
<i>Air limbah mentah</i>		
Waktu menetap	> 50 hari	
Beban hidraulik	200m / (ha hari)	
Beban BOD <sub>5</sub>	< 30 kg/ (ha hari)	
Kedalaman	< 1,5 m	Mutu saluran yang diharapkan
Pajang : lebar	3 : 1	
Temperatur	> 10 C	
		BOD < 30 mg/l zat mengambang - 30 mg/l
<i>Air limbah yang dibersihkan secara biologis</i>		
Waktu menetap	> 6 hari	
Beban hidraulik	800 m / (ha hari)	
Beban BOD <sub>5</sub>	< 50 kg/(ha hari)	
Kedalaman	< 0,91 m	
Pajang : lebar	3 : 1	
Temperatur	20 C	BOD <sub>5</sub> < 10 mg/l zat mengambang < 10 mg/l seluruh p < 5 mg/l seluruh N < 5 mg/l
Beban zat lemas (TKN)	< 15 kg/(ha hari)	

sering memasukkan pengaruh temperatur. Pengaruh temperatur disalurkan dari kinetika metabolisme. Tetapi penilaian statistik data-data dari 50 kolam pengamatan memperlihatkan tidak adanya pengaruh temperatur terhadap efisiensi kolam air limbah (Middlebrook *et al.*, 1982). Walaupun tidak diragukan lagi bahwa temperatur mempengaruhi penghancuran secara biologis, tetapi untuk rancangan praktek dapat disebutkan bahwa pada instalasi kolam, pengaruh temperatur tidak sebesar pengaruh-pengaruh lainnya. Pengaruh temperatur hanya mempunyai arti di daerah bermusim dingin. Di daerah penyebaran enceng gondok, temperatur air selama setahun umumnya di atas 20°C, sehingga tidak perlu diperhatikan secara khusus dalam perencanaan.

### Petunjuk konstruktif

Dalamnya kolam dibatasi oleh panjang akar, yang di dalam kolam air limbah jarang mencapai lebih dari 20 cm. Karena sebanyak mungkin air limbah harus mengalir melalui ruang akar, maka hanya diperlukan sedikit tambahan kedalaman untuk sedimentasi dan penumpukan lumpur. Ruang tambahan tempat pembersihan limbah mentah ini tentu saja lebih besar daripada di tempat pengolahan air limbah yang dibersihkan secara biologis.

Yang sangat penting ialah kondisi arus. Penelitian Tracer memperlihatkan bahwa di kebanyakan kolam, waktu menetap yang sebenarnya berada sangat jauh di bawah waktu menetap yang diperhitungkan (Middlebrook *et al.*, 1982). "Tabrakan arus" (*short circuit streams*) dapat dihindari melalui arus masuk air limbah yang dibagi-bagi atau melalui perbandingan panjang-lebar yang besar. Perbandingan panjang-lebar sedikitnya harus 3:1. Untuk mencegah terjadinya arus yang berlapis-lapis, disarankan untuk memakai penyekat, sebab arus berlapis dapat muncul mulai pada perbedaan temperatur antara 1-2°C.

Sebagian besar rancangan untuk kolam enceng gondok menganjurkan kadar zat asam paling sedikit 1-2 mg/l. Ini memungkinkan pemeliharaan ikan, yang mencegah bermukimnya larva-larva nyamuk. Dalam percobaan-percobaan Asian Institute of Technology, sebuah kolam enceng gondok dialiri dalam situasi anoksik. Suatu hasil penghancuran yang lebih kecil tidak dapat diamati di sini dan larva nyamuk jarang ditemui. Menurut pendapat dinas kesehatan, larva nyamuk yang ditemui bukanlah yang membawa penyakit malaria, karena mereka ini tidak menemukan persyaratan hidup yang cukup di dalam kolam air limbah. Pertanyaan, sejauh mana kolam enceng gondok merupakan sarang nyamuk pembawa malaria, kelihatannya belum dijelaskan secara tuntas. Karenanya, untuk rancangan diusulkan agar berkonsultasi dengan dinas kesehatan setempat. Secara umum hal ini tidak sulit, karena kebanyakan negara berkembang mempunyai program untuk memerangi dan mengawasi malaria.

Sebagai penutup usul-usul untuk rancangan, diajukan suatu peringatan keras. Di daerah penyebarannya, enceng gondok merupakan gulma yang menimbulkan kerusakan besar. Mulai dari menutup keseluruhan aliran sungai sampai memampatkan instalasi tenaga air. Metode pembasmiannya yang memuaskan belum terdapat sampai kini, Karenanya, enceng gondok tidak boleh ditanam di tempat di mana tanaman itu sampai kini belum pernah muncul.



### Instalasi Percobaan Enceng Gondok di Navanakorn

#### Daerah penelitian dan tugas-tugasnya

Instalasi percobaan dibangun di sebuah daerah industri baru, sekitar 50 km sebelah utara Bangkok. Instalasi ini mencakup juga daerah pemukiman untuk pekerja-pekerja operasional instalasi yang ditempatkan di sana. Keseluruhan infrastruktur dari daerah itu, termasuk kanalisasi dan kilang penjernihan, dikuasai oleh lembaga bantuan pembangunan. Situasi keseluruhan dapat digambarkan sebagai khas dan sering terdapat di negara berkembang.

Pengisian daerah pemukiman berjalan lambat. Sekarang ini, artinya setelah sekitar 10 tahun, relatif hanya sebagian kecil dari areal keseluruhan saja yang dihuni. Kilang penjernihan dirancang untuk arus masuk air limbah sebesar 12.000 m<sup>3</sup>/hari. Tetapi air masuk sekarang ini hanyalah sekitar 2.500 m<sup>3</sup>/hari. Sumber air limbah berasal dari 80 perusahaan kecil, sekitar 4.000 penduduk daerah tersebut dan juga 8.000 orang anggota masyarakat yang hidup di luar daerah tersebut. Sekitar dua pertiga dari air limbah yang dibuang adalah air limbah industri. Tabel 10.2. memperlihatkan masing-masing sektor industri. Bagian yang terbesar berasal dari berbagai usaha yang memproduksi bahan sitetik, farmasi dan pupuk, serta produksi mesin.

Tabel 10.2. Pembuangan air limbah dari kelompok industri terpenting di Navanakorn (Herbert, 1985)

Kelompok industri	Pembuangan air limbah (m <sup>3</sup> /l)
Kimia organik	460
Pengolahan besi dan baja	37
Kimia organik	211
Pestisida dan pupuk	9
Produksi farmasi	35
Plastik dan sintetik	33
Tekstil	37
Bahan makanan	20
Mesin dan lain-lain	742
Jumlah	1584

Pabrik-pabrik ini sebagian besar merupakan usaha pengolahan yang mengambil bahan mentahnya dari perusahaan lain. Dalam beberapa percobaan uji petik, tidak ditemukan substansi toksis dalam konsentrasi yang kritis untuk pembersihan air limbah. Nilai yang tertinggi diperlihatkan oleh tembaga dan seng, sebesar 0,01 dan 1,5 mg/l. Jadi, secara keseluruhan merupakan air limbah campuran dari rumahtangga-industri, dengan air limbah industri merupakan bagian terbesar, meskipun demikian cocok untuk dibersihkan secara biologis.

Percobaan yang dilakukan sampai sekarang bertujuan meneliti kemampuan kolam enceng gondok untuk situasi yang khas dan yang telah digambarkan di atas. Terutama sekali mengenai kemampuannya membersihkan air limbah yang sebagian besar berasal dari industri, beban yang mungkin akan muncul dan dampak dari beban yang berlebihan. Masalah dampak beban berlebihan terutama muncul akibat kesulitan-kesulitan besar dalam operasinya di negara berkembang. Secara realitis harus disadari bahwa sistem air limbah dalam jangka pendek atau dalam kasus tertentu, juga dalam jangka panjang, akan mengalami beban yang berlebihan. Dalam kasus enceng gondok, penting untuk diketahui, apakah beban instalasi berlebihan akan menyebabkan tanaman tersebut musnah secara tiba-tiba, sehingga menghancurkan keseluruhan sistem itu?

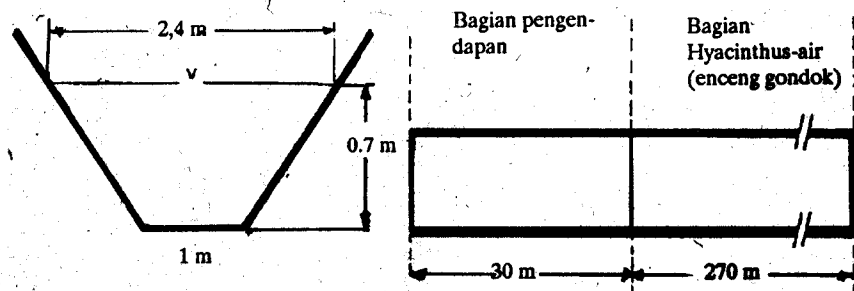
Kriteria-kriteria penilaian yang penting untuk masalah efisiensi sistem ialah reduksi BOD/COD, begitu juga pengurangan pertumbuhan ganggang dan penurunan kadar zat mengambang yang berkaitan dengannya dalam saluran. Pembuangan zat lemas dan fosfor hanya diamati sebagai kriteria penilaian tambahan, karena tujuan penelitian ialah pemakaian kolam enceng gondok sebagai tahap utama biologis dan bukan sebagai tahap pembersih yang ketiga.

#### Pembangunan kilang percobaan

Kilang percobaan terdiri dari kolam sepanjang 300 m. 300 m pertama ialah bagian untuk pengendapan (Gambar 10.3.). Bagian ini dan bagian yang ditempati oleh enceng gondok dipisahkan oleh sebuah "ambang air lebih" (*overflow threshold*). Di bagian yang berisi enceng gondok dipasang sekat-sekat berjarak 30 m atau satu dari yang lainnya. Air limbah mengalir ke pintu sumur basah kilang penjernihan dan dialirkan ke kilang percobaan dengan ketinggian air jatuh yang konstan melalui sebuah tanggul. Untuk mencegah enceng gondok mengalir keluar, maka air yang keluar mula-mula disalurkan melalui timbunan batu kerikil. Tetapi timbunan

kerikil dalam waktu yang sangat singkat akan memampatkan saluran, karena itu diganti dengan jaringan plastik yang sederhana. Dalam pengamatan yang ada sampai sekarang, tidak terlihat enceng gondok mengalir keluar ke saluran yang lebih rendah.

Kilang penjernihan air yang ada di daerah industri terdiri dari dua penyaring pasir yang paralel dan diaerasi dengan volume keseluruhan sebesar 98 m<sup>3</sup>, sebuah bak aeratasi segi empat dengan volume 6.500 m<sup>3</sup> dan sebuah bak pasca-pembersihan yang bundar dengan volume 1.105 m<sup>3</sup>. Untuk aeratasi terdapat 5 aerator permukaan. Di samping tahap pekerjaan pendahuluan, program penelitian terdiri dari sebuah program pengukuran yang dibagi dalam tiga bagian dengan beban yang berbeda-beda. Dalam tahap pendahuluan diamati kecepatan pertumbuhan dengan beban BOD yang tinggi. Karenanya, instalasi dibebani sekitar 250 kg/(ha.hari) yang merupakan batas terendah dari nilai yang terdapat dalam kepustakaan. Terlihat bahwa kecepatan pertumbuhan enceng gondok jauh lebih rendah daripada yang umumnya disebutkan dalam kepustakaan. Pada awal penanaman enceng gondok, yang meliputi sekitar 30% dari permukaan, berdasarkan data pada kepustakaan yang ada, setelah 1 bulan seluruh permukaan akan tertutup oleh tanaman tersebut. Tetapi kenyataannya, diperlukan berbulan-bulan sampai tanaman itu menutupi sekitar 90% dari permukaan kolam. Ini mungkin disebabkan oleh tingginya beban dan juga karena bagian air limbah industri yang tinggi. Setelah permukaan kolam tertutup sama sekali oleh tanaman itu, maka dilakukan program pengukuran dengan 3 tahap beban yang berbeda-beda. Tabel 10.3. memberikan tinjauan mengenai data-data dari 3 tahap pengukuran tersebut. Sebuah perbandingan dengan Tabel 10.1. memperlihatkan bahwa kilang tersebut mendapat beban lebih besar daripada dalam rancangan.



Gambar 10.3. Ukuran kolam enceng gondok di Navanakorn

### Hasil-hasil percobaan

Hasil-hasil dari 3 tahap pengukuran (Tabel 10.4. dan 10.6.) memperlihatkan adanya ketergantungan yang sangat besar dari waktu menetap. Untuk itu perlu diperhatikan bahwa meskipun beban dikendalikan melalui tingkat air masuk, tetapi bertambahnya waktu bermukim tidak selalu berarti berkurangnya beban. Ini berasal dari konsentrasi air masuk yang berbeda-beda. Untuk tiga tahap beban BOD, sesuai dengan waktu menetap 2,7, 7,6 dan 10 hari, nilai arus keluar BOD rata-rata ialah 31, 23 dan 9 mg/l. COD turun dari 83 ke 68, lalu menjadi 49 mg/l, sedangkan kadar zat mengambang turun dari 23 ke 15, lalu menjadi 11 mg/l.

Tabel 10.3. Data-data operasi kolam enceng gondok di Navanakorn (Orth, et al., 1986)

Periode pengoperasian	I	II	III	
Air masuk	135	48	36	m <sup>3</sup> hari
BOD <sub>5</sub> rata-rata dalam arus masuk	105	124	150	mg. l
<i>Bagian pengendapan</i>				
Panjang	30	30	30	m
Dalam	0,7	0,7	0,7	m
Penampang melintang	1,2	1,2	1,2	m <sup>2</sup>
Volume	36	36	36	m <sup>3</sup>
	72	72	72	m <sup>2</sup>
<i>Permukaan</i>				
Waktu menetap	6	18	24	jam
Beban permukaan	1,88	0,67	0,50	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> hari)
Beban melintang	112	40	30	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> hari)
Beban BOD <sub>5</sub>	1970	827	750	kg/(ha.hari)
BOD <sub>5</sub> dalam arus keluar	61	53	91	mg/l
<i>Bagian hyacinthus-air</i>				
Panjang	270	270	270	m
Dalam	0,70	0,70	0,70	m
Penampang melintang	1,2	1,2	1,2	m <sup>2</sup>
Permukaan	648	648	648	m <sup>2</sup>
Volume	324	324	324	m <sup>3</sup>
Penutupan oleh tanaman	100	90	90	%
Waktu menetap	2,4	6,8	9	hari
Beban permukaan	0,21	0,07	0,05	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> hari)
Beban melintang	112	40	30	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> hari)
Beban BOD <sub>5</sub>	125	39	51	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> hari)
BOD <sub>5</sub> dalam arus keluar	31	23	9	mg/l

Tabel 10.4. Hasil pengoperasian rata-rata kolam enceng gondok di Navanakorn untuk arus masuk sebesar 135 m<sup>3</sup>/hari (Orth *et al.*, 1986)

Parameter	Bagian Pengendapan		Bagian hyacinthus - air		
	masuk	Keluar	setelah 100 m	Arus	Keluar
Temperatur	26,8	27,0	26,5	26,0	0°C
Nilai pH	7,9	7,7	7,9	7,5	
Zat-zat yang mengendap	2,6	0,1	<0,1	<0,1	ml/l
Zat yang mengambang	284	73	25	23	mg/l
Volatile solid	53	73	86	84	%
COD	241	156	110	83	mg/l
COD (disaring)	103	82	88	56	mg/l
TOC (disaring)	31	26	14	13	mg/l
BOD <sub>5</sub>	105	61		31	mg/l
NH <sub>4</sub> -N	11,1	12,1	8,6	99	mg/l
N organik	5,4	4,7		3,7	mg/l
NO <sub>2</sub> -N	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	mg/l
NO <sub>3</sub> -N	<1	<1	<1	<1	mg/l
PO <sub>4</sub> -P	2,4	1,8		1,5	mg/l
H <sub>2</sub> S				8,8	mg/l
Cu (disaring)	0,07	0,04	0,04	0,02	mg/l
Zn (disaring)	0,05	0,09	0,09	0,05	mg/l

Pengurangan konsentrasi arus keluar yang cukup besar dicapai melalui perpanjangan waktu menetap dari 2,7 menjadi 7,6 hari. Dalam tingkat pembebanan ini tidak saja dicapai nilai arus keluar yang sebagian besar sesuai dengan persyaratan pembersihan secara biologis, tetapi juga dihasilkan pembuangan zat lemas dan fosfor yang sangat besar. Dalam waktu menetap selama 10 hari konsentrasi arus keluar jauh berada di bawah persyaratan. Tabel 10.7. memperlihatkan tingkat rata-rata untuk tiga tingkat beban.

Tabel 10.4. sampai 10.6. selanjutnya memperlihatkan arti kilang pengendapan pendahulu. Sebagian besar beban organik telah dipisahkan dalam kilang pengendapan tersebut. Tetapi beban ini hanya membutuhkan 10% dari luas keseluruhan. Segi negatif kilang pengendapan ini ialah perkembangan H<sub>2</sub>S akibat dari proses penghancuran anaerob. Walaupun tidak muncul bau, dikhawatirkan bahwa zat H<sub>2</sub>S akan merusak hasil pembersihan. Untuk mencegah pembentukan H<sub>2</sub>S, maka dalam program-program penelitian selanjutnya bagian sedimentasi digantikan oleh bagian penyaringan permukaan yang pendek.

Tabel 10.5. Hasil pengoperasian rata-rata instalasi enceng gondok di Navanakorn untuk arus masuk sebesar 48 m<sup>3</sup>/hari (Orth *et al.*, 1986)

Parameter	Bagian pengendapan		Bagian hyacinthus-air		
	Masuk	keluar	setelah 40 m	setelah 100 m	arus keluar
Temperatur	28,00	28,00	28,00	27,00	27,00 0 C
Nilai pH	7,60	7,50	7,60	7,70	7,40
Zat-zat mengendap	1,80	0,10	<0,10	<0,10	<0,100 ml/l
Zat mengambang	155,00	51,00	31,00	21,00	15,00 mg/l
Hilangnya panas	67,00	71,00	37,00	82,00	84,00 %
COD	290,00	158,00	98,00	84,00	68,00 mg/l
COD (disaring)	147,00	-	-	-	31,00 mg/l
BOD <sub>5</sub>	124,00	53,00	44,00	39,0	23,00 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	7,90	7,90	3,20	-	3,00 mg/l
N organik	10,70	5,20	3,90	-	2,60 mg/l
NO <sub>2</sub> -N	<0,10	<0,10	<0,1	-	<0,10 mg/l
NO <sub>3</sub> -N	<1,00	<1,00	<1,0	-	<1,00 mg/l
PO <sub>4</sub> -P	1,40	1,00	-	-	0,60 mg/l
H <sub>2</sub> S	1,00	2,10	2,70	2,50	2,40 mg/l
Cu (disaring)	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01 mg/l
Zn (disaring)	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02 mg/l

Tabel 10.6. Hasil pengoperasian rata-rata instalasi enceng gondok di Navanakorn untuk arus masuk sebesar 36 m<sup>3</sup>/hari (Orth *et al.*, 1986)

Parameter	Bagian pengendapan		Bagian hyacinthus-air	
	Masuk	keluar	setelah 40 m	arus keluar
Temperatur	2,60	26,00	26,00	25 0 C
Nilai pH	7,60	7,90	7,60	7,40
Zat yang mengendap	6,50	0,20	<0,10	<0,10 ml/l
Zat mengambang	187,00	60,00	32,00	11,00 mg/l
Hilangnya panas	57,00	68,00	80,00	81,00 %
COD	351,00	264,00	106,00	49,00 mg/l
COD (disaring)	169,00	205,00	49,00	31,00 mg/l
BOD <sub>5</sub>	150,00	91,00	31,00	9,00 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	14,40	9,40	6,30	2,20 mg/l
N organik	11,00	6,20	3,60	2,20 mg/l
NO <sub>2</sub> -N	<0,10	<0,1	<0,10	<0,10 mg/l
NO <sub>3</sub> -N	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00 mg/l
PO <sub>4</sub> -P	2,80	1,10	0,10	0,10 mg/l
H <sub>2</sub> S	0,90	4,10	4,30	4,30 mg/l
Cu (disaring)	0,01	0,01	<0,01	<0,01 mg/l
Zn (disaring)	1,50	0,07	0,08	0,08 mg/l

Sebagai penutup, hasil-hasil dari kolam enceng gondok akan dibandingkan secara singkat dengan kilang penjernihan yang ada. Ini bukanlah suatu perbandingan umum dari kedua sistem tersebut, melainkan hanya untuk menekankan suatu situasi yang khas di negara berkembang. Data-data operasi di Tabel 10.8. jelas memperlihatkan bahwa

Tabel 10.7. Tingkat rata-rata kolam enceng gondok di Navanakorn (periode pengukuran bulan Februari sampai Juli 1985)

Waktu bermukim hari	Tingkat rata-rata				
	BOD <sub>5</sub>	COD	Zat lemak (TKN)	PO <sub>4</sub>	Zat mengambang
2,7	70	66	18	38	92
7,6	81	77	70	57	90
10,0	94	86	83	96	94

Tabel 10.8. Data pengoperasian rata-rata kilang pengaktifan di Navanakorn

Parameter	arus masuk	pengaktifan	arus keluar
Nilai pH	7,7		7,9
Zat mengambang (mg/l)	209,0		39,0
Hilangnya panas (%)	59,0		68,0
COD (mg/l)	294,0		70,0
COD (disaring) (mg/l)	140,0		42,0
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	126,0		25,0
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	11,1		10,0
N organik (mg/l)	9,0		4,3
TS <sub>R</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		15	
Kadar O <sub>2</sub> (mg/l)		1,3	
B <sub>TS</sub> (kg/kg. hari)		0,03	

instalasi tidak dijalankan dalam persyaratan yang optimal. Sebab utama di sini ialah beban kilang sangat sedikit, seperti yang diperlihatkan oleh rendahnya kadar zat padat. Walaupun demikian, instalasi ini memenuhi tuntutan yang ditujukan kepadanya. Tetapi dengan kolam enceng gondok didapatkan hasil pembersihan yang sama baiknya -- bahkan dengan ukuran yang sesuai juga bisa diperoleh hasil pengolahan yang jauh lebih baik. Juga tanpa perhitungan biaya yang lebih terinci terlihat jelas bahwa untuk hasil

pembersihan limbah dengan menggunakan kolam enceng gondok hanya dikeluarkan biaya yang lebih sedikit daripada biaya yang diperlukan untuk menggunakan kilang pengaktifan lumpur. Juga perlu diingat bahwa sampai sekarang sebagian besar areal daerah industri masih belum digunakan, sebuah areal yang jauh lebih luas daripada yang diperlukan untuk kolam enceng gondok.

### Kesimpulan

Kolam air limbah merupakan salah satu proses terpenting untuk membersihkan air limbah di negara berkembang. Karena masalah struktur biaya di negara berkembang, maka instalasi kolam secara umum lebih murah, sedangkan kilang penjernihan teknis berharga lebih mahal daripada di negara industri. Dengan demikian untuk negara berkembang instalasi kolam lebih menguntungkan daripada instalasi teknik. Karena jaringan-jaringan kanalisasi yang luas masih relatif jarang, maka sebagian besar kilang penjernihan di negara berkembang yang sesuai ialah pembangunan instalasi kolam. Karena kesederhanaan tekniknya, biaya pengoperasiannya yang rendah dan ketidaktergantungannya dari impor, operasi instalasi ini terjamin. Kolam air limbah dapat dipakai sebagai pembersihan awal, sebagai tahap utama pembersihan secara biologis dan sebagai kolam maturasi, seperti juga sebagai jalan keluar sementara dan sebagai pembersih lanjut dari kilang teknik yang tidak membersihkan dengan cukup. Kolam air limbah pun cocok untuk mengolah air limbah industri yang dapat diolah secara biologis dan air limbah rumah tangga.

Keburukan utama dari kolam air limbah yang telah ada di negara berkembang ialah perkembangan ganggang, sebagai akibat tingginya penyinaran matahari. Ganggang menentukan batas alami terhadap mutu saluran pembuangan yang dapat dicapai. Dengan menutupi ganggang dari sinar matahari, kolam enceng gondok dapat mencegah terjadinya segi negatif dari kolam tanpa tanaman. Secara keseluruhan, mutu air yang keluar dari kolam-kolam enceng gondok tergantung dari beban yang dipilih dan waktu menetap dalam kolam. Pada pengukuran yang dilakukan, nilai-nilai arus keluar yang sesuai dengan tuntutan tahap pembersihan ketiga bisa didapatkan tanpa kesulitan.

Usul pengukuran pertama untuk kolam enceng gondok telah ada. Namun usul ini berlandaskan pada penelitian kilang penjernihan dalam jumlah terbatas, terutama mengenai pemakaian kolam enceng gondok sebagai tahap utama pembersih biologi. Hasil pembersihan dari kilang yang

diteliti sampai sekarang memperlihatkan ketidakstabilan yang besar. Ketidakpastian ini telah dipertimbangkan dalam usul-usul pengukuran yang ada sampai sekarang. Dengan demikian dapat diperhitungkan bahwa perkembangan lanjut dari proses dapat memungkinkan beban yang lebih tinggi.

Percobaan-percobaan yang digambarkan memperlihatkan bahwa enceng gondok cocok untuk membersihkan air limbah industri yang dapat dihancurkan secara biologis. Walaupun sangat jarang terdapat penelitian untuk menentukan batas konsentrasi bahan-bahan toksis, namun dapat disarankan untuk menggunakan nilai-nilai pembersih air limbah biologis biasa. Sebab, sebagian besar hasil pembersihan, seperti juga pada proses teknis, berdasarkan pada kegiatan mikro-organisme. Dalam penelitian khusus tentang kemampuan menyerap logam berat, enceng gondok ditempatkan pada lingkungan yang mengandung konsentrasi logam berat yang sangat tinggi. Percobaan ini membuktikan bahwa enceng gondok merupakan tanaman yang sangat "keras". Dengan mempertahankan nilai batas yang biasa dipakai untuk bahan-bahan toksis, menurut pengetahuan yang didapatkan sampai sekarang, enceng gondok tidak akan musnah secara tiba-tiba. Dengan demikian tidak perlu ditakutkan kehancuran sistem tersebut.

Pada pokoknya pemakaian enceng gondok untuk membuang logam berat kelihatannya mungkin dilakukan. Karena tanaman ini harus sering dituai dan masalah pelaksanaan yang berkaitan dengan hal itu, maka nilai praktis dari penggunaan enceng gondok tetap harus dipertimbangkan secara kritis.

Dalam suatu penilaian keseluruhan, terbukti enceng gondok merupakan proses yang paling efisien dan fleksibel untuk membersihkan air limbah industri yang dapat dihancurkan secara biologis. Pengoperasiannya mudah dan hanya membutuhkan biaya sedikit. Keuntungan keseluruhan dari proses ini terutama sangat tergantung dari harga tanah. Di bawah persyaratan yang ada di negara berkembang, terbukti bahwa kolam-kolam enceng gondok dalam banyak kasus merupakan metode pembersih air limbah yang cocok.

#### Kepustakaan

1. ATV. 1985. "Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik," Bd IV, 3. Aufl. Wilhelm Ernst und Sohn Verlag, Berlin.
2. Herbert, D. 1985. "Leistungsfähigkeit und Grenzen von Wasserhy-

zinthen-Systemen zur Abwasserreinigung in den Tropen (Thailand)." Diplomarbeit, Fachbereich Technisches Gesundheitswesen, Fachhochschule Giessen-Friedberg.

3. Middlebrooks, E.J., Middlebrooks, C.H., Reynolds, J.H., Waters, G.Z., Reed, S.C. und George, D.B. 1982. *Wastewater stabilization lagoon design, performance and upgrading*. Macmillan Publishing Co., Inc., New York.
4. Muramoto, S. dan Oki, Y. 1983. "Removal of some heavy metals from polluted water by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)," *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 30, 170-177.
5. Orth, H., Lertpocasombut, K., dan Wilderer, P.A. 1987. "Wastewater treatment for industrial estates in Southeast Asia using waterhyacinths," *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 19, Rio, S. 85-96.
6. Sapkota, D.P. 1987. "A Comparative study on wastewater treatment by aquatic macrophytes," Tesis Master. Environmental Engineering Division, Asian Institute of Technology, Bangkok.
7. Stowell, R., Ludwig, R., Colt, J. dan Tchobanoglous, G. 1981. "Concepts in aquatic treatment system design," *J. Environ. Eng. Div.*, Proc. ASCE, Vol. 107, No. EE5, S. 919-940.
8. Weber, A.S. dan Tchobanoglous, G. 1985. "Nitrification in water hyacinth treatment systems," *J. Environ. Eng.*, Vol. 111, No. 5, ASCE, 699-713.



## TAMBAHAN

*Alfred Bittner*

Sementara permasalahan seperti peledakan penduduk dan kurangnya bahan makanan tetap merupakan kendala yang merajalela di Dunia ketiga, semakin bertambah pula permasalahan lainnya yang harus semakin diperhatikan secara global. Ini terutama sekali berkaitan dengan masalah pencemaran, seperti pencemaran air dan udara.

Situasinya menjadi sangat genting, terutama yang berhubungan dengan air, sejak air harus dipandang sebagai sumberdaya alam. Semakin tercemar, semakin sedikit kemungkinannya untuk dapat dipakai ulang untuk irigasi dan air minum. Masalah ini justru muncul di daerah yang sekarang ini masih memiliki "surplus air", seperti di negara-negara industri maju beriklim sedang. Di negara-negara ini kurangnya air disebabkan oleh tingginya tingkat konsumsi air minum dan sangat tingginya penggunaan air dalam proses industri dan pendinginan. Selain itu, semakin meningkatnya genangan air dalam saluran dan salah mengatur sumberdaya air telah mengganggu proses daur ulang alami air.

Di negara-negara Dunia Ketiga, yang sebagian besar berada di daerah beriklim tropis dan subtropis, kekurangan air pada dasarnya disebabkan oleh situasi alamnya sendiri. Selain itu pengaruh manusia pada waktu belakangan ini telah merupakan faktor yang memperburuk situasi ini. Semakin terlihat bahwa masalah penyediaan air terjadi tidak hanya di daerah yang memang selalu kering, seperti di daerah Sahel, tetapi juga di daerah-daerah yang pada prinsipnya mempunyai cukup air. Air menjadi semakin langka, sebagai akibat dari fertilisasi (penyuburan) tanah secara berlebihan serta penggunaan herbisida dan pestisida di luar batas (misalnya, di daerah persawahan di Asia Tenggara setelah program "Revolusi Hijau").

Di negara-negara yang berada di ambang pintu perkembangan,

## *Tambahan*

masalahnya semakin sering bertumpang tindih. Di satu pihak pertumbuhan penduduk dan perubahan perilaku kehidupan dalam hal kesehatan, menyebabkan semakin banyaknya pemakaian air; di lain pihak peningkatan industrialisasi menyebabkan kebutuhan akan air semakin tinggi dan pembuangan air juga semakin banyak.

Dalam edisi kali ini, Institut Kerjasama Ilmu Pengetahuan bersama Institut Teknik Sumber daya Air-Universitas Karlsruhe, mempersembahkan sebuah penelitian mengenai kemungkinan penggunaan air limbah. Jika sudah tidak mungkin lagi mendapatkan cukup air, maka harus dicari jalan keluar untuk dapat lebih sering memanfaatkan air limbah.

Kurangnya air di dunia yang disebabkan oleh konsumsi air secara berlebihan dan kecerobohan dalam menggunakan sumber daya alam ini, hanyalah merupakan satu contoh saja. Dalam tahun-tahun terakhir semakin terbukti bahwa banyak masalah bukan lagi merupakan masalah masing-masing regional atau nasional saja. Penduduk dunia yang semakin bertambah jumlahnya tidak saja memerlukan jaminan persediaan makanan, tetapi juga sebuah lingkungan hidup yang utuh. Hanya jika tuntutan ini dapat dipenuhi, maka kehidupan di masa mendatang akan menjadi lebih layak untuk semua umat manusia. Masalah pencemaran lingkungan, pemborosan, daur-ulang dan pemanfaatan kembali tidak dapat diselesaikan oleh negara dan pemerintah secara sendiri-sendiri. Mereka harus mengatasi permasalahan ini melalui kerjasama antar semua bangsa.

Kami berharap bahwa dalam edisi ini, tulisan kami dapat melengkapi dorongan untuk usaha tersebut.

## DAFTAR KATA-KATA PENTING

### **Aerator permukaan**

alat untuk memasukkan zat asam udara ke bak atau kolam melalui permukaan bak atau kolam

### **Akuifer**

dalam geologi, lapisan tanah yang mengandung air atau paras air tanah

### **Bak aeratasi**

lihat kilang pengaktifan lumpur limbah

### **Bak pasca penjernihan**

lihat kilang pengaktifan lumpur limbah

### **Basis air (water-based)**

bagian dari daur hidup perantara infeksi yang berlangsung di dalam air

### **Beban melintang (hydraulic application rate)**

arus masuk air limbah ( $\text{m}^3/\text{hari}$ ) per satuan bidang ( $\text{m}^2$ ) garis tengah kolam atau selokan. Parameter rancangan dengan dimensi kecepatan. Tetapi definisi kecepatan dihindari sebagai parameter rancangan, karena tidak terdapat kesatuan kecepatan dalam selokan alami.

### **Beban permukaan**

arus masuk air limbah ( $\text{m}^3/\text{hari}$ ) per satuan bidang ( $\text{m}^2$ ) permukaan kolam

### **Berkurangnya berat melalui pembakaran (volatile solid)**

ukuran untuk perkiraan kasar kadar bahan organik dalam air limbah. Kehilangan berat ( $\text{mg/l}$ ) melalui pembakaran zat padat dalam air limbah percobaan

### **Biocoenosa**

simbiose dari organisme-organisme

### **BOD (Biochemical Oxygen Demand = kebutuhan akan zat asam biokimiawi)**

kebutuhan zat asam biokimiawi adalah jumlah zat asam yang dipergunakan

## *Daftar Kata-kata Penting*

pada penghancuran secara oksidatif zat-zat organik yang mengandung air oleh mikro-organisme dalam waktu tertentu pada temperatur  $20^\circ\text{C}$   $\text{BOD}_5$

ukuran konsentrasi zat organik yang kotor dalam air limbah. Jumlah zat asam yang dilarutkan ( $\text{mg/l}$ ) yang dibutuhkan untuk menghancurkan zat organik dalam 5 hari pada  $20^\circ\text{C}$  secara biologis-oksidatif

### **Bromatologi**

dari kata Yunani, broma = makanan; istilah untuk ilmu pengetahuan tentang bahan makanan dan produksi makanan diet

### **$B_{TS}$ - muatan lumpur (food-to-microorganism ratio)**

ukuran perbandingan antara zat organik yang dimasukkan dan yang harus dihancurkan dengan mikro-organisme yang melakukan penghancuran (lumpur yang diaktifkan). -  $\text{kg BOD}_5$  per hari, setiap  $\text{kg}$  bahan kering dari lumpur yang diaktifkan

### **COD (Chemical Oxygen Demand = kebutuhan zat asam kimia)**

jumlah zat asam yang dipergunakan pada oksidasi zat-zat organik yang mengandung air yang ekuivalen dengan kaliumdikromat dengan persyaratan reaksi tertentu

### **Denitrifikasi**

metode pembuangan zat lemas dari air limbah. Nitrat dan nitrit dalam air limbah dalam lingkungan anoksis direduksi oleh bakteri menjadi zat lemas yang lalu menguap ke atmosfer

### **DOC**

semua zat arang yang terkandung dalam larutan zat organik yang mengandung air

### **Faktor puncak (peak factor)**

asumsi multiplikator dari kebutuhan rata-rata konsumsi air maksimal

### **Gumpalan (coagulant)**

bahan yang membentuk susunan molekul besar dalam air, sehingga mempertahankan ketidakmurnian dalam proses pengendapan

### **Kilang pengaktifan lumpur limbah (activated sludge plant)**

kilang penjernihan yang sesuai dengan proses pengaktifan. Air limbah di dalam sebuah bak yang dialiri udara secara buatan (bak aeratasi) ditambahkan mikro-organisme yang menghancurkan bahan-bahan organik. Massa bakteri yang tumbuh dalam bak pengaktifan (lumpur yang diaktifkan) dipisahkan dari air limbah di dalam sebuah bak pasca penjernihan melalui pengendapan dan sebagian dialirkan kembali ke bak aeratasi

**jaringan pemasok (supply network)**

jaringan pipa penekan air untuk mengalirkan air ke konsumen

**Jaringan regional (regional network)**

sistem pengiriman air jarak jauh

**Kebutuhan disain (design demand)**

perkiraan konsumsi air yang menjadi dasar perhitungan dalam rancangan penyediaan air

**Kolam maturasi**

kolam air limbah untuk perbaikan lebih lanjut mutu air limbah yang telah dibersihkan secara biologis

**Kolam pembuangan anaerob**

lubang untuk memisahkan zat-zat yang dapat diendapkan yang terkandung dalam air limbah yang belum diolah dan untuk membusukkan lumpur yang mengendap

**Kurva pemakaian**

grafik dari pemakaian zat asam massa organisme tertentu setelah ditambahkan jumlah substrat tertentu yang tergantung dari waktu

**Lapis tritis**

bejana dengan bahan pengisi, tempat bermukimnya mikro-organisme yang menyebabkan penghancuran secara bio-kimia bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Air limbah menetes melalui lapis tritis dan dipisahkan melalui pengendapan lumpur dalam sebuah bak pasca pembersih (pembersihan mikro-organisme yang tumbuh)

**Menara air (stand pipe)**

tangki penampung air bersih

**Nejayote**

nama air limbah yang terjadi pada penguraian jagung secara alkalis

**Nitrifikasi**

bakteri-bakteri yang menyebabkan berlangsungnya nitrifikasi

**Nitrifikasi**

oksidasi yang mereduksi ikatan zat lemas (produk penghancuran dalam air limbah) menjadi nitrit dan nitrat. Merupakan tahap sebelum berlangsungnya denitrifikasi

**Niktamalisasi**

nama penguraian jagung secara alkalis

**Pancuran umum (public fountain)**

kran air yang dapat dicapai oleh masyarakat umum

**Pemasokan air (water supply)**

pengumpulan air mentah, pembersihan, penyimpanan air bersih dan

distribusi

**Pembersihan sendiri (self-purification)**

kemampuan alami air untuk membuang unsur-unsur dengan proses kimiawi, biologis dan fisikal

**Pencucian air (water-washed)**

disebabkan oleh kurangnya air bersih

**Penelitian operasional (operations research)**

metode matematik untuk mensimulasi atau mengoptimasi sistem alami, buatan manusia atau hipotetis

**Pengangkutan air (water-borne)**

perantara infeksi yang diangkut oleh air

**Pembuangan limbah (sewage disposal)**

pengumpulan air limbah, pembersihan, penyaluran

**Program linear (linear programming)**

metode optimisasi matematik yang diterapkan pada suatu sistem yang mengandung fungsi-fungsi linear

**Saringan mikro (microstrainer)**

saringan dengan lubang berukuran kecil untuk menahan, misalnya ganggang

**Saringan pasir (grit chamber)**

bak untuk pengendapan dan pembuangan pasir dan bahan-bahan mineral lainnya yang dapat mengganggu kegiatan kilang penjernihan limbah. Pada saringan pasir dengan aeratasi, kecepatan alir limbah dapat diawasi melalui peniupan masuk udara

**Saringan pasir lambat (slow sand filtration)**

pembersihan air dengan cara penyaringan air mentah melalui lapisan pasir dengan kecepatan rendah, hanya beberapa cm/jam

**SCP (single cell protein)**

nama untuk putih telur yang didapatkan melalui budidaya massal mikro-organisme (misalnya ganggang dan bakteri)

**Sekat**

sekat yang dimasukkan beberapa desimeter ke dalam air limbah untuk menahan bahan-bahan yang mengambang dan untuk mencegah lapisan arus

**Strategi evolusioner (evolutionary strategy)**

metode optimisasi secara matematik yang berdasarkan pada teknik penelitian acak

**Sumur basah**

bak penampung air dari sebuah stasiun pompa

**SVI (Sludge Volume Index)**

indeks volume lumpur, merupakan parameter untuk menilai perangai sedimentasi dari suspensi zat padat (misalnya lumpur aktif)

**Tahap pembersihan ketiga**

istilah umum untuk proses pengolahan air limbah setelah tingkat pengolahan secara mekanis dan biologis; sering dipakai untuk membuang zat logam dan fosfor

**Teknologi tepat-guna (appropriate technology)**

metode yang optimal dengan memperhatikan kriteria teknis, sosial, ekonomi dan lingkungan

**Teori Graph (graph theory)**

disiplin matematik yang membahas sistem node (titik buhul) dan busur lingkaran

**TOC (Total organic carbon = zat arang organik total)**

ukuran untuk kadar bahan organik dalam air limbah. Penentuan melalui oksidasi termis bahan-bahan organik dan kemudian pengukuran zat asam arang yang terbentuk

**TS<sub>R</sub> - Kadar zat padat dalam bak aeratasi**

ukuran untuk memperkirakan konsentrasi mikro-organisme dalam bak aeratasi

## INDEKS

### A

*Accessibility*, 17

Air, 16, 153

bibit penyakit yang terkandung dalam, 153

jumlah kebutuhan, 146

keadaan tanah, 149

limbah untuk tujuan pertanian, 109

kekurangan, 220

kualitas, 151

penguasaan, 16

penyakit yang dihanyutkan, 154

penyakit yang ditularkan, 153

penyakit yang hidup dalam, 154

penyimpanan, 180

pola konsumsi, 149

sistem penyediaan, 147

kualitas utama dalam, 151

perubahan musim, 149

surplus, 220

tahap perencanaan kebutuhan, 146

vektor serangga melalui, 155

Alluvial, 5, 6

Ameliorasi, 19

Arus, 2

kondisi, 209

tabrakan, 209

### B

Bakteri, 116

Beban, 207

organik, 207

### C

*Cell material*, 194

### D

Daerah, 2

pasang surut, 2

Darat, 30

Angkutan, 30

Distribusi, 39

hujan, 39

pola, 39

Drainase, 15, 16

pembuatan saluran, 15  
sistem, 53

### E

Ekologi, 132

elemen dasar, 132

Ekonomi, 152

- kurangnya sumberdaya, 152
- Enceng gondok, 195, 202, 209, 218
- kecepatan pertumbuhan, 212
- kolam tanaman, 196, 200
- sifat khusus, 196
- kolam di negara berkembang, 198

Endapan, 6

- air laut, 6
- sungai, 6

F

Fertilasi, 220

Filtrasi, 155

- keramik, 163
- melalui kendi-kendi tanah liat, 163
- melalui pot tembikar, 163
- pasir lambat, 155

Flokulasi, 118

G

Ganggang, 199

- pertumbuhan, 199
- penyinaran matahari, 202

H

Hama, 16

I

- Industri, 153
- revolusi, 153
- Infiltrasi, 162

Irigasi, 38

- alur, 121
- baru, 38
- pembangunan, 38
- empat metode umum, 121
- kocor (trickle), 127
- metode pengoperasian sistem
- suplai air untuk, 87
- metode waduk, 122
- pematang, 121
- penyiram, 124, 126, 129
- perkembangan di Indonesia, 39
- permukaan, 121
- proses perkembangan, 41, 44
- ketangguhan, 41
- tahap dini, 41
- tahap maju, 41
- tahap tangguh, 41
- proses belajar, 44
- pemantapan kemampuan, 44
- penurunan kemampuan, 44
- proyek, 75
- rancangan umum, 80
- sistem, 39, 44
- ketahanan suatu, 40
- seederhana, 40
- tangguh, 34, 41
- siram, 95, 102
- sub-permukaan, 122
- terbatasnya lahan, 38

J

Jasad-renik (patogen), 55

K

Kanalisisasi, 183

air hujan, 183

dan kilang penjernihan, 210

jaringan, 96

Keandalan, 39

Kebun, 2, 18

campuran, 2, 18

kelapa, 2, 18

Kelapa, 24

kehutanan, 29

Keragaan, 39

ambang, 39

Kesehatan, 153

Kesenjangan, 44

informasi teknik, 44

rancangan sistem, 44

teknologi produksi, 44

Khlor, 69

Kilang, 196, 199

beban, 216

mekanis-biologi, 119

pengendapan pendahuluan, 214

penjernih, 119

perjernihan, 196, 212

ketergantungan, 198

teknis, 217

ukuran, 196-197

Koagulasi, 164

Kolam, 119

instalasi, 217

limbah yang diolah dalam, 120

penjernihan, 199

penyimpanan, 119

L

Lahan, 1

kering, 1

marjinal, 1

pasang surut, 3

pola pendayagunaan, 18

pekarangan, 21

rawa, 1

di Indonesia, 6

lebak, 1

non pasang surut, 2

pasang surut, 1, 6, 14, 26

pembangunan, 28

pembukaan, 1

pengembangan di Indo-

nesia, 7, 12-13

pembukaan, 17

pengembangan, 7

potensi pertanian, 13

tanah di, 15

Landfill, 103

Latosol, 5, 6

Lebak, 2

lahan rawa, 3, 6

pengembangan lahan, 19

Limbah, 48

air, 109

kanalisasi, 183

kolam, 194, 197, 217

dengan menggunakan

tanaman, 195,

di negara berkembang,

194

keburukan, 217

keuntungan, 194, 195

penggunaan, 221

peran, 194

mengolah, 131

mutu, 135

pembuangan, 186

pengolahan, 110

untuk tujuan pertanian, 109

dan organisme, 132

jaringan, 113

kanalisasi, 180

konsep pembuangan, 173



- nasional, 46
- yang dikelola masyarakat, 46
- lambatnya aliran, 113
- pembersihan, 49
  - manfaat air, 50
- pembuangan, untuk daerah pemukiman, 177
- pemukiman, 113
  - dalam pertanian, 113
- perencanaan pembuangan sampah dan, 169
- sistem, 95
  - jaringan, 95
  - pembuangan sentral, 171
- Lingkungan, 30
  - Analisis Dampak (ANDAL), 31
  - Analisis Mengenai Dampak (AMDAL), 30
    - penerapan, 30-31
  - Penyajian Evaluasi (PEL), 31
  - Penyajian Informasi (PIL), 31
  - perubahan, 30
  - Rencana Pemantauan (RPL), 31
  - Rencana Pengelolaan (RKL), 31
  - sehat, 151
- Lumpur, 55
  - buangan, 55
  - kilang pengaktifan, 99
- M**
  - Makanan, 220
    - kurangnya bahan, 220
  - Maturasi, 199
    - pemakaian kolam-kolam, 199
  - Metal berat, 116
- Metode, 166
  - pelaksanaan riset, 166
- Mikro-organisme, 201
  - aktivitas kehidupan, 201
- Model, 76
  - ekonomi dari, 77
  - fisika, 76
  - matematika, 76, 166
  - pengukuran oceanografi penghitungan, 190
- Molofom, 69
- N**
  - Nejayote, 136, 137
- O**
  - Organosol, 5, 6
- P**
  - Pasang surut, 2
    - daerah, 3
    - lahan, 3
      - strategi meningkatkan, 19
  - Pedesaan, 162
    - penyediaan air di wilayah, 162
  - Pelayaran, 30
  - Pemisahan, 57
  - Penduduk, 152
    - kepadatan, 152
    - peledakan, 152
  - Pengapuran, 15
  - Pengolahan, 59
    - biologis, 59
    - proses, 199
  - Penyiram, 125

- statis, 125
- Perikanan, 29
- Persawahan, 2, 18
- Pertanian, 29
  - perencanaan proyek teknologi, 75
  - program intensifikasi hasil, 78
  - tujuan proyek, 75
- Peternakan, 29
- Podzolik Merah Kuning, 5, 6
- Prasarana, 30
  - pembuatan, 30
- Produksi, 57
- Program, 1
  - Keluarga Berencana, 1
  - mandiri, 145
  - Pembangunan Pertanian Nasional, 1
  - penyiraman, 87
  - rotasi tanaman, 79
- R**
  - Rate of return*, 9
- S**
  - Salinitas, 53
  - Sampah, 186
    - pengumpulan secara teratur, 186
  - Sanitation and water Supply Decade, 145
  - Sedimentasi, 118
    - dan pengurangan sinar matahari, 207
  - Sistem, 14
    - kolam, 118
    - kelebihan, 118
  - kelemahan, 119
  - pengumpulan sampah, 57
  - penyemprotan air, 98
  - penyimpanan permukaan, 160
    - sub-permukaan, 161
  - persawahan, 14
  - pompa portabel, 108
  - surjan, 19
  - Subak, 40
    - sistem, 40, 41
  - Sumur, 159
    - konstruksi dan pengoperasian, 159
    - rehabilitasi, 159
- T**
  - Tanah, 6
    - gambut, 6, 15, 16
    - pengolahan, 95
      - di, 94
    - perataan, 83
    - rawa, 6
    - sulfat masam, 6
  - Tanaman, 81
    - kebutuhan air, 81
    - nilai rancangan untuk, 81
  - Teknologi, 144
    - implikasi, 144
    - tepat-guna, 144, 155
  - Transmigrasi, 29
- V**
  - Varietas, 20
    - introduksi, 20
  - Virus, 115
    - Transplanting, 19

Suplai, 42, 80

Air Relatif (SAR), 42  
pada sistem irigasi tahap  
sangat dini, 42  
pada sistem irigasi tahap  
tangguh, 42-43  
jadwal, 80

## TENTANG PENYUNTING DAN PENULIS

**Alfred Bittner**, lahir tahun 1947. Kepala bagian Ilmu Pengetahuan Alam pada Lembaga Kerjasama Ilmiah di Tubingen. Pada tahun 1977 bekerja selama 1 tahun pada Instituto Nacional De Pesquisas Da Amazonia (INPA) di Manaus, Brasilia. Pada waktu tersebut ia melaksanakan sebuah proyek penelitian untuk Departemen Ekologi Tropis pada Max Plank Institute bagian limnologi di Ploen. Antara tahun 1979-1981 ia ditugaskan untuk mengadakan riset pada Universitas Karlsruhe oleh Departemen Federal untuk Riset dan Teknologi. Ia sedang mengembangkan sebuah instalasi akuakultur untuk keperluan pengajaran dan percobaan di dataran rendah Thailand dengan bantuan Lembaga Kerjasama Ilmiah. Ia juga menyunting buku-buku ilmiah yang dikeluarkan oleh lembaga tersebut. Sejak tahun 1984 ia ikut dalam publikasi seri *Animal Research and Development* (Penelitian dan Pengembangan Hewan). Bidang spesialisasinya adalah fisiologi ikan, limnologi dan akuakultur.

**Uwe Neis**, ahli teknik kesehatan; University of Karlsruhe, F.R.G., Dr. Ing. (Ph.D.) tahun 1974, pemanfaatan fisiko-kimia air dan air limbah. Pengalamannya terutama sebagai insinyur konsultan untuk air dan air limbah, German Technical Cooperation (GTZ) tahun 1986 sampai sekarang; kepala teknik pada Institute for Siedlungswasserwirtschaft (ahli teknik kesehatan), University of Karlsruhe, 1970-74; Project Engineer for Seutter & Zulow Consultant Engineers, Kornwestheim, F.R.G., 1969-70 Affiliation: insinyur konsultan untuk air dan teknik air limbah, untuk REGIDESO (Regie de distribution de l'electricite et des eaux), Bujumbura, Burundi, Africa.

**Emeritus Emil F. Mosonyi**, lulusan Universitas Teknik Budapest di Hongaria. Memperoleh gelar Doktor di bidang teknik Hidrolik dan Fotogrametri, dan di bidang udara dan geologi sebagai tambahan pada tahun 1947; tahun 1950 Ph.D. dalam bidang hidro-mekanik pintu bendungan. Pernah bertugas pada Dewan Irigasi Hongaria dan terlibat dalam persiapan

an rencana keseluruhan, disain rinci dan konstruksi bendungan utama, fluvial dan proyek-proyek irigasi dan pengendalian banjir. Tahun 1965 sebagai kepala Institut Teknologi Struktur Hidrolik dan Pertanian dan direktur Laboratorium Hidrolik Theodor-Rehbock pada Universitas Karlsruhe, Republik Federal Jerman. Di samping dua jilid karangannya yang berjudul *Water Power Development*, ia telah menerbitkan sejumlah buku pelajaran, 150 makalah mengenai berbagai pokok riset dan persoalan praktis teknik.

**Rolf Kayser**, lahir tanggal 11 September 1931 di Oldenberg, Republik Federal Jerman. Tahun 1953-1967 kuliah pada University for Technology Braunschweig, jurusan Teknik Sipil. Tahun 1958 menjadi Dipl. Ing., dan tahun 1967 menjadi Dr. Ing. Sejak bulan Oktober 1970 menjabat sebagai Profesor Teknologi Kesehatan, Fakultas Teknik Sipil pada University for Technology Braunschweig.

**Klaus W. Buckstceeg**, Dipl. Ing., DSE direktur bagian pembangunan, lahir tahun 1938 di Stade, Jerman Barat, 1957-1962 studi teknik sipil di Universitas teknik Munchen. Tahun 1962-1964 mengikuti pendidikan referendar bangunan di administrasi ahli teknik kesehatan Bavaria; tahun 1965/1966 lulus dari International Post Graduate Course Sanitary Engineering di Delft, Belanda. Sejak tahun 1966 memegang berbagai macam jabatan di bidang teknologi kesehatan Munchen, saat itu menjadi wakil pimpinan bagian ahli teknik kesehatan; anggota pada berbagai komisi ahli nasional dan internasional dalam masalah "pengelolaan air limbah"; di samping itu menjadi dosen dan membuat lebih dari 70 makalah.

**Ludwig Hartmann**, lahir 18 Agustus 1929 di Unterstall (Bavaria), tahun 1949-1955 mempelajari Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Munchen. Dari tahun 1955-1962 memegang pimpinan bidang ilmiah Institut fur qualitative Wasserwirtschaft und Hydrobiologi pada Universitas Karlsruhe. Tahun 1960 habilitasi dan sejak itu menjadi dosen swasta untuk insinyur biologi dan Frisch. und Wasserbiologie (biologi air dan air bersih). Tahun 1962-1964 bekerja pada California Institute of Technology Pasadena dan lektor kepala pada Marquette University, Milwaukee. Sejak tahun 1964 menjadi pimpinan Institut fur Engineering Biologi University Karlsruhe.

**Ralf G. Cembrowicz**, pimpinan proyek Institut fur Wasserbau und Kulturtechnik (bangunan air dan teknik penanaman) Universitas Karlsruhe. Dipl. Ing. pada Technischen Universitat, Berlin, tahun 1964; S.M. Ph.D

Harvard University; Cambridge Mass, 1968 dan 1971. Habilitasi di Universitas Karlsruhe di bidang "Perencanaan Teknologi Kesehatan" 1986. Pengalaman luar negeri (pendidikan, proyek, penilai, konferensi) 1986. lain di Turki (1964), Burundi (1965), Amerika Serikat (1966-1971), Istanbul (1973), Togo (1974), New delhi (1975), Ghana (1978), Nairobi (1980), Bahama (1981), Kairo (1982), Polandia (1985), Nigeria (1988)

**Heinz B. Braun**, lahir 17 Januari 1936 di Saarbrucken, Jerman Barat, menikah dengan tiga anak. Penasehat untuk Wasser Abwasser-Abfaltechnik GmbH (teknik air limbah dan teknik sampah), di Mannheim, Jerman Barat. Lulus tahun 1955 dari Realgymnasium Volklingen, Saar. Studi di Sekolah Tinggi Karlsruhe, Fakultas Teknik Sipil dan Geodesi; lulus sebagai Dipl. Ing., tahun 1961. Promosi menjadi Dr. Ing. tahun 1966. Mengajar dan melakukan penelitian di bidang teknik kesehatan, titik berat teknik air limbah, di Sekolah Tinggi Karlsruhe dan University of Wisconsin, Madison, USA. Sejak tahun 1972 sebagai pimpinan perusahaan GKW, aktif pada tugas-tugas konsultasi di bidang teknik kesehatan, teknik lingkungan dan Infrastruktur Perkotaan dengan penggunaan khusus untuk kebutuhan-kebutuhan khas di Dunia Ketiga.

**Pasandaran, Effendi**, bekerja sebagai staf peneliti pada Pusat Peneliti Agro Ekonomi, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian. Tamat Fakultas Pertanian IPB tahun 1966. Tahun 1967 mengikuti International Course on Land Drainage di Wageningen, Belanda. Tahun 1966-1983 bekerja pada Direktorat Jenderal Pertanian dalam bidang kerja yang berhubungan dengan pengelolaan irigasi di tingkat usahatani. Tahun 1982 memperoleh gelar doktor dari IPB dan menulis berbagai artikel tentang pengelolaan irigasi.

**Wirawan**, lahir di Liwa, Lampung, tanggal 31 Oktober 1944. Pendidikan di Akademi pertanian Jurusan Sosial Ekonomi, Ciawi, Bogor, pada tahun 1968. Pada tahun 1968-1972 sebagai staf Bidang Perencanaan dan Pengembangan Irigasi Pedesaan, Direktorat Pengairan Pedesaan, Direktorat Jenderal Pertanian, Departemen Pertanian. Tahun 1972-1976 sebagai Kepala Urusan Pengembangan irigasi Sederhana, Direktorat Teknik Pertanian, Direktorat Jenderal Pertanian, Departemen Pertanian. Tahun 1976-1982 bekerja di Yayasan Survey Agro Ekonomi, sebagai peneliti sosial ekonomi bidang Sumberdaya Air irigasi, Rawa dan Air Tanah. Tahun 1982 sampai sekarang di Pusat Penelitian Agro Ekonomi, Litbang

Departemen Pertanian sebagai peneliti Sosial Ekonomi untuk bidang Sumberdaya Air. Disamping itu ia juga melakukan penelitian dan penulisan ilmiah, antara lain: tahun 1968-1972 melaksanakan studi dan penulisan laporan feasibility studi pengembangan irigasi pedesaan di berbagai propinsi di Indonesia; 1970-1974 sebagai penulis tetap untuk bidang Pengembangan Pertanian pada Harian Abadi, Jakarta; 1972-1976 melakukan studi dan penulisan laporan berbagai aspek Sosial Ekonomi irigasi di Jawa dan luar Jawa antara lain irigasi Pemali Comal, Glapan Sedayu, dan lain-lain; 1976-1982 sebagai koordinator Penelitian dan Penulisan Laporan pada (a) Benefit Monitoring Study, Rentang Irrigation sub Project (1976-1982), (b) Tim Sosial Ekonomi Feasibility Study Reklamasi Rawan Pasang Surut Mesuji (1980), (c) Feasibility Study Perkebunan Kelapa Sawit dan Coklat di Kalimantan Timur (1979), (d) Verifikasi Pengembangan Perkumpulan Petani Pemakai Air di Indonesia; 1983-1988 melaksanakan penelitian Sosial Ekonomi bidang Sumberdaya Air, antara lain di Bengkulu dan Sulawesi Utara (1983), di Sukabumi (1984), di Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan, sebagai koordinator Penelitian Sosial Ekonomi (1985), di Way Jepara sebagai anggota tim penelitian (1986), di Jawa Timur dan Sulawesi Selatan, sebagai anggota tim Penelitian Regional dan Biaya Air (1988-1989), sebagai anggota Penelitian Strategi Investasi Sumberdaya Air (1988-1989).

Rita Nur Suhaeti, lahir di Bandung tanggal 23 Juni 1959. Tahun 1983 lulus sebagai sarjana Pertanian, untuk bidang Keahlian Gizi-Masyarakat dan Sumberdaya Keluarga, IPB, Bogor. Bekerja sebagai staf peneliti pada Pusat Penelitian Agro Ekonomi, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian, Bogor. Pernah menulis beberapa artikel populer dalam harian umum Pikiran Rakyat dan Suara Karya, artikel ilmiah Bahasa Inggris pada Jurnal Badan Litbang, dan artikel ilmiah dalam Majalah Media Teknologi Pangan.

Proyek Pembinaan Perpustakaan  
Jawa Timur  
T A 1993 / 1996

62.445 8  
MEM  
2.327/PP/P/96  
MEMANFAATKAN air limbah.